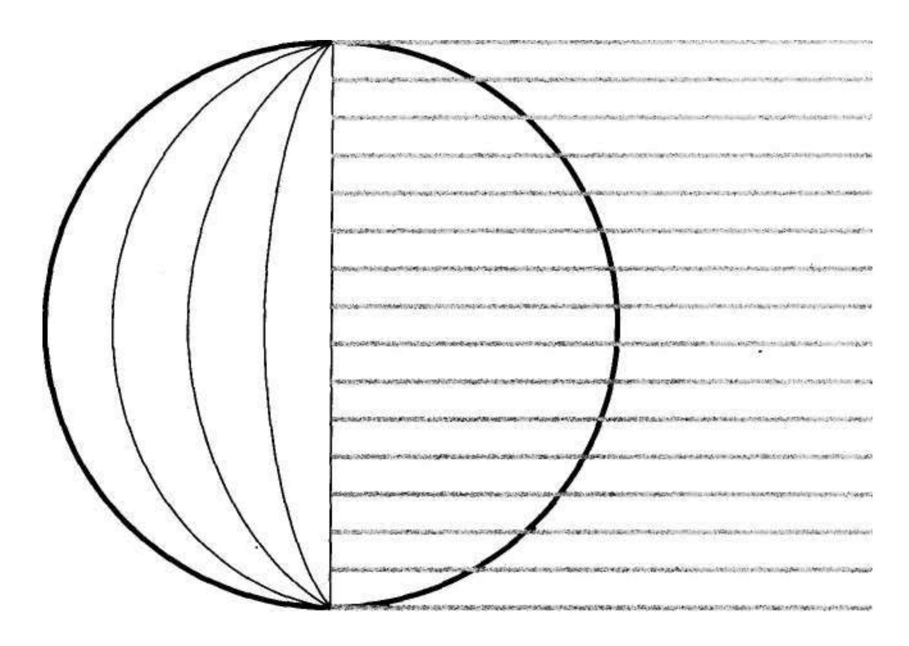
Н.И. НИКОЛАЙКИН
Н.Е. НИКОЛАЙКИНА
О.П. МЕЛЕХОВА

Высшее образование

Экология



Рекомендовано
Министерством образования
'оссийскои Федерации в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
ручающихся по направлениям подготовки
в области 550000 Технические науки
и по специальностям в области 650000
Техника и технологии

3-е издание, стереотипное



МОСКВА
2004

УДК 574(075.8)
ББК 20.1я73
Н63

Рецензенты:

кафедра «Экология и промышленная безопасность»
Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана
(зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. *С. В. Белов);*
чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, проф. *Е. А. Криксунов*
(МГУ им. М. В. Ломоносова);
чл.-корр. РАН, д-р хим. наук, проф. *Н. П. Тарасова*
(РХТУ им. Д. И. Менделеева)

Николайкин Н. И.
Н63 Экология: Учеб. для вузов / Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. — 3-е изд., стереотип. — М.: Дрофа, 2004. — 624 с: ил.

ISBN 5—7107—8246—7

В учебнике приведены сведения об истории развития экологии, рассмотрены закономерности взаимоотношений организмов на всех уровнях организации со средой их обитания, а также биосфера в целом, пределы ее устойчивости, роль и место человека в ней; изложены современные представления о причинах и особенностях глобального экологического кризиса, путях и методах сохранения современной биосферы.

Второе издание (1-е — 2000 г.) значительно переработано и дополнено новым материалом по основам экологического права и управления в области охраны окружающей среды.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим направлениям и специальностям, а также для подготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов.

УДК 574(075.8)
ББК 20.1я73

ISBN 5—7107—8246—7

© ООО «Дрофа», 2003

Предисловие

Содержание учебника соответствует примерной программе дисциплины «Экология», одобренной в 2000 г. президиумом Научно-методического совета по биологии Министерства образования РФ для направлений 550 000 «Технические науки».

Нередко в технических вузах вместо фундаментальных знаний о природе студентам дают лишь информацию об основах инженерной защиты окружающей среды (ОС). В период экологического кризиса особенно важно заполнить этот пробел в общем фундаментальном естественнонаучном образовании.

Авторы ставили целью способствовать формированию у студента представлений о человеке как о части природы, о самоценности всего живого и невозможности выживания человечества без сохранения биосферы. После изучения курса студент должен не только иметь представление о взаимоотношениях организмов со средой обитания, структуре биосферы, ее эволюции, глобальных проблемах ОС, но и уметь прогнозировать результаты своей профессиональной деятельности с учетом прямых и многочисленных косвенных последствий для биосферы.

В соответствии с Государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования Российской Федерации для экологических факультетов и специальностей вузов в число обязательных входят такие естественнонаучные дисциплины, как география, геология, геохимия, почвоведение и др. Однако в стандартах специальностей технического профиля они не предусматриваются, хотя знание многих вопросов из названных дисциплин является непременным условием правильного понимания курса «Экология». Поэтому в данный учебник включены отдельные вопросы геоэкологии.

При написании учебника авторы стремились отразить современное состояние соответствующих направлений науки.

Однако и биология, и экология непрерывно развиваются. Появляются новые факты, пока необъяснимые с существующих позиций либо опровергающие их. Многие фундаментальные концепции, считавшиеся незыблемыми в течение десятилетий и изложенные в научных и учебных изданиях, пересматриваются. Поэтому приходилось выбирать между разными точками зрения, ориентироваться на новизну или достоверность источника, а также делать многочисленные оговорки и примечания.

Каждая наука имеет свою точку отсчета и свои вехи развития. К экологии, так же как и к геологии и особенно к биологии, применимы слова А. Эйнштейна: «Знание является функцией времени». Становление этих наук было долгим, сложным и пока не завершено. При этом каждая, с одной стороны, опирается на точные факты и знания, а с другой стороны, их теоретическая база до сих пор основана ни гипотезах и интуитивных догадках. Желающим глубже ознакомиться с историей становления и развития этих наук и особенно с вопросами (гипотезами) возникновения и эволюции нашей планеты и жизни на ней следует обратиться к специальной литературе.

Значения одних и тех же величин, приведенные в разных разделах данного учебника, могут различаться, что связано с использованием авторами различных первоисточников.

Предметный указатель составлен подробно и включает многочисленные термины, встречающиеся в книге, а также их синонимы и варианты написания, поэтому данным изданием можно пользоваться и как словарем-справочником.

В авторский коллектив вошли представители трех вузов — Московского государственного технического университета гражданской авиации, Московского государственного университета инженерной экологии, Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Учебник является результатом более чем семнадцатилетнего опыта чтения авторами курса «Экология» в технических вузах. Он представляет собой переработанное и дополненное второе издание. По сравнению с первым изданием (2000, изд-во МГУИЭ) переработаны гл. 2, 9 и 10. Для лучшего усвоения и закрепления материала в конце каждой главы даны контрольные вопросы и задания.

Разд. 2.1, 8.2.2, 9.1.1—9.1.3, 10.2, 10.4.8, 10.6, 10.9 и заключение написаны Н. Е. Николайкиной, гл. 7 и разд. 9.1.6 — совместно Н. Е. Николайкиной и Н. И. Николайкиным, гл. 1,

8 и разд. 2.2—2.4, 5.6, 9.2 — О. П. Мелеховой, разд. 10.3 — А. М. Матягиной, остальное — Н. И. Николайкиным.

Авторы выражают благодарность рецензентам кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н. Э. Баумана (зав. кафедрой — д-р техн. наук, проф. С. В. Белов), чл.-корр. РАН, д-ру биол. наук, проф. Е. А. Криксунову и чл.-корр. РАН, д-ру хим. наук, проф. Н. П. Тарасовой за ценные советы и рекомендации при сборе и анализе исходных материалов, а также всем сотрудникам и коллегам, особенно канд. хим. наук В. Е. Леликовои за всемерную помощь в подготовке рукописи к изданию.

Авторы

ГЛАВА 1

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИИ

Экология — это наука, изучающая взаимоотношения организмов между собой и с окружающей средой. Часто встречается перевод термина «экология» как учения о доме, жилище. Это не точно. Древние греки понимали этот термин значительно шире. Экосом они называли любое место пребывания человека: и хороший пляж, где люди собирались для купания, и горное пастбище, где пастухи пасли овец.

В середине XX в. экологию стали понимать как науку об экосистемах и биосфере. Начало такому пониманию положили работы В. И. Вернадского, В. В. Докучаева, Ю. П. Одума, А. Дж. Тенсли, Н. В. Тимофеева-Ресовского и других известных ученых. В результате стало ясно, что современная биосфера, среда обитания всех живых организмов, является продуктом их жизнедеятельности: неустанного воспроизведения, метаболизма (обмена веществ) и посмертного разложения мириадов живых существ. Почвенная, водная, наземная, воздушная среда жизни есть результат постоянного взаимодействия и взаимопроникновения живого и неживого веществ. Ни один вид живых организмов не может существовать среди себе подобных. Жизнь возможна только в сообществах (биоценозах) и в строго определенной совокупности условий, характеризующей место их обитания (биотоп). Единство биотопа и биоценоза — основная концепция современной экологии, концепция экосистемы.

Экосистемы и биосфера в целом являются высшим уровнем организации живого на планете Земля. Они, как и любая живая система, способны к саморегуляции, т. е. к самосохранению, поддержанию своего видового состава и воспроизведению связей между отдельными видами. Такое представление об устойчивости экосистем, их гомеостазе или, иначе, об эко-

логическом равновесии — одно из основополагающих понятий современной экологии.

Биосфера и отдельные экосистемы могут переносить значительные антропогенные (от греч. *antropos* — человек и *genesis* — происхождение) нагрузки благодаря возможности саморегуляции, самоочищения и самовосстановления. Однако эти свойства имеют естественные пределы, которые называют *емкостью экосистем.*

1.1. Цивилизация и природа

1.1.1. Становление экологии

Существование цивилизации на нашей планете неразрывно связано с природными условиями. Она возникла тогда, когда человек научился использовать огонь и другие средства и орудия, позволявшие ему изменять среду обитания. Экология приобрела практический интерес уже на заре человечества. Первобытный человек, борясь за выживание, должен был иметь определенные знания о видах животных, их повадках, местах обитания.

На протяжении тысячелетий человек пытался покорить природу, но только недавно осознал, что Земля — не более чем «космический корабль» с ограниченными ресурсами. Нерачительное их использование и загрязнение окружающей среды могут сделать невозможной жизнь последующих поколений.

Появившись на планете, человек на всех стадиях развития влиял на среду обитания сначала как просто биологический вид, затем как охотник, имеющий специальные орудия, позволяющие уже в эпоху Великих оледенений воздействовать на видовой и численный состав животных. Выжигая леса, собирая съедобные виды растений, он влиял на природу через усиление естественно идущих процессов и формирование антропогенных ландшафтов. Развитие земледелия, скотоводства привело к росту общин и возникновению первых крупных поселений, способствовало прогрессу в изготовлении орудий труда. За 2 тыс. лет до н. э. в Египте и Месопотамии человек создал грандиозные оросительные системы, принципиально изменившие окружающий мир.

Происходившие в результате хозяйственной деятельности изменения природных условий тогда еще не были велики и носили локальный характер. Тем не менее они вели к эрозии

почв, их засолению, опустыниванию, а в конечном итоге к региональным экологическим кризисам и исчезновению цивилизаций, их создавших.

Возникшие на заре цивилизации города первоначально хорошо «вписались» в природную среду, несмотря на то что по числу населения многие города древности (Фивы, Вавилон, Рим) вполне сопоставимы с современными. Так, согласно переписи населения Рима, проведенной в 14 г. н. э. императором Августом, в городе проживали 4 млн 937 тыс. человек.

Создавая первые города, человек еще неосознанно понимал необходимость соблюдения определенных санитарных норм. Первая из известных сегодня систем городской канализации появилась в III—II тысячелетиях до н. э. в Индии. В Риме был построен водопровод, действовала система канализации. После падения Римской империи в 400-х годах н. э. в городах государств, образовавшихся на ее развалинах, вплоть до XIII—XIV вв. царила антисанитария, ибо необходимые знания были утрачены.

Техническая революция, начавшаяся в конце XVIII в., привела к тому, что последствия деятельности человека стали сопоставимы с природными явлениями.

1.1.2. Глобальный экологический кризис

В связи с экспоненциальным ростом численности человечества, развитием техники и все большим стремлением к повышению уровня потребления у среднего жителя Земли к концу XX в. возникли предпосылки экологического кризиса, т. е. перехода биосферы к неустойчивому состоянию.

Экспоненциальный рост населения и явления демографического взрыва стали заметны к 60-м годам прошлого столетия. Тогда же появились первые работы с прогнозами и сценариями дальнейшего развития жизни на Земле. Это известные работы ученых Римского клуба (А. Печчеи, Д. Форрестера, Денниса и Донеллы Медоузов и др.), в которых описана мировая динамика и определены пределы роста населения и развития технологической цивилизации Земли. Позже уточненные математические модели роста населения созданы С.П. Курдюмовым, С. П. Капицей. В связи с тем что 30% населения Земли практически голодает, был поставлен вопрос о возможности и путях решения продовольственной проблемы, о емкости природной среды, оценена продуктивность биосферы и ее способность прокормить растущее население Земли. В итоге

стало ясно, что человечество находится почти у предела допустимой численности и уровня потребления.

Современная кризисная ситуация усугубляется тем, что очень быстро вымирают биологические виды. Если нормальные изменения условий в природе сопровождаются вымиранием одного вида за 100 лет, то в настоящее время всего за 1 ч на Земле исчезает 50 видов. К концу XX в. 63% естественных экосистем суши разрушены, гибнут многие водные экосистемы, и прежде всего морские. Происходит это по разным причинам, связанным как с техногенным загрязнением окружающей среды, так и с распахиванием земель, нерациональным использованием природных ресурсов, однако прежде всего из-за роста народонаселения (особенно в развивающихся странах) и роста уровня потребления в развитых странах.

Экологами убедительно доказано, что качеством природной среды «автоматически» может управлять только биота, т. е. совокупность всех живых организмов Земли. Анализ моделей и натурные исследования показали, что биологическое разнообразие (разнообразие и количество видов, составляющих экосистему) является главным критерием и признаком устойчивости экосистемы. Искусственно создать среду обитания для человека не удается, что подтверждено многочисленными экспериментами в разных странах мира.

Восстановить нормальную природную среду обитания, качество воды, воздуха, почвы, пищи, утерянные ныне в результате экологического кризиса, биота способна, но только в случае, если для восстановления самой биоты будут предоставлены время и место. Поэтому для продолжения жизни биосферы прежде всего необходимо охранять биологическое разнообразие, т. е. все виды животных, растений, грибов, микроорганизмов, которые и составляют биосферу. При этом виды существуют только в сообществах и в определенных условиях, поэтому для их сохранения необходимо выделить специально охраняемые территории (заповедники), площадь которых на суше должна составлять не менее 1/6 ее части.

1.2. Из истории экологии

«Экологически» мыслили, т. е. видели связь между живыми организмами и окружающей средой, ученые Древней Греции и Рима. Экология как наука начала формироваться в конце XVIII в., и то сначала как один из разделов зоологии.

Развитие классической биологии долгое время шло по пути изучения **морфологических**[1] и функциональных особенностей организмов в их единстве с условиями существования. Предысторией современной экологии являются труды натуралистов и географов XVIII—XIX вв. Первые представления о биосфере как области жизни и оболочке Земли даны Ж.-Б. Ламарком (1744—1829) в труде «Гидрология». Термин «биосфера» впервые ввел в научный обиход в 1875 г. австрийский геолог Э. Зюсс **(1831—1914),** в работах которого биосферу понимали как тонкую пленку жизни на земной поверхности, в значительной мере определяющую лик Земли.

Существенной вехой в развитии науки об образе жизни различных живых организмов является труд Т. Мальтуса (1798), в котором приведены уравнения экспоненциального роста популяций как основы демографических концепций. Несколько позже П. Ф. Ферхюльст предложил уравнение «логистического» роста (см. разд. 4.4.2). Эти работы обосновали представления о динамике численности популяций. Тогда же в трудах врача В. Эдвардса, философа О. Конта и биолога И. И. Мечникова было положено начало экологии человека. Социальные аспекты экологии человека отражены в трудах О. Конта, Д. Милля и Г. Спенсера, а также американских социологов Р. Парка и Е. Берджеса.

В России заслуга в формировании основных положений экологии и экологического мировоззрения принадлежит проф. Московского университета Карлу Францевичу Рулье **(1814**—1858). Еще до выхода в свет труда Э. Геккеля он сформулировал основной принцип взаимоотношений организма и среды, названный им «Законом двойственности жизненных начал». Им же обозначены проблемы изменчивости, адаптации, миграций и влияния человека на природу. К. Рулье в своих лекциях и печатных трудах обсуждал взаимодействие организмов со средой с позиций, близких дарвиновским.

Во второй половине XVIII в. благодаря многочисленным экспедиционным исследованиям флоры и фауны (работы А. Гумбольдта, А. Уоллеса, Ф. Склеттера) в виде отдельной науки начала оформляться биогеография, позже ставшая одной из основ современной экологии. В России ее развитие связано с трудами К. М. Бэра, Н. А. Северцева и др.

[1] Морфология (от греч. *morphe* — форма) — учение о форме и строении организмов.

Во второй половине XIX — начале XX вв. большое внимание уделяли изучению влияния отдельных факторов (главным образом, климатических) на распространение и динамику организмов. К догеккелевскому периоду развития экологии относят, в частности, работы ученого-агронома Ю. Либиха, который сформулировал известное правило «лимитирующего фактора».

Термин **«экология»** (от греч. *oikos* — дом, родина и *logos* — учение) впервые введен в 1866 г. немецким биологом, профессором Йенского университета Э. Геккелем (1834—1919). В своем труде «Всеобщая морфология» (1866) он писал: «Экология — это познание экономики природы, одновременное исследование взаимоотношений всего живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая антагонистические и неантагонистические отношения животных и растений, контактирующих друг с другом». Преимущественно экология изучает живые системы с уровнем организации от организма и выше (рис. 1.1).

Труд Геккеля построен на громадном фактическом материале, накопленном классической биологией, и главным образом посвящен тому направлению, которое сейчас называют *аутэкологией* или экологией отдельных видов. Кроме того, в трудах Геккеля прослеживается еще одно важное обстоятельство — понимание экологии как «экономики природы». С этого времени экология из раздела биологии превращается в междисциплинарную науку, охватывающую многие области знаний.

В XX в. в рамках экологии сформировалось самостоятельное направление физиологии, посвященное исследованию механизмов адаптации. В нашей стране представителями этого направления, достигнувшего расцвета в 60—70-х годах XX столетия, были Н. И. Калабухов, А. Д. Слоним, а в последние годы — акад. И. А. Шилов.

В 1927 г. Ч. Элтон выпустил первый учебник-монографию по экологии. В нем было описано своеобразие биоценотических процессов, дано понятие экологической ниши, обосновано «правило экологических пирамид», сформулированы принципы популяционной экологии. Вскоре были предложены математические модели роста численности популяций и их взаимодействия (В. Вольтерра, А. Лотка), проведены лабораторные опыты по проверке этих моделей (Г. Ф. Гаузе). Таким образом, в 20—30-е годы сформировалось направление экологии популяций, в 30-е годы — понятие экосистемы. Его введение связывают с работами А. Тенсли (1935). Под экосистемой

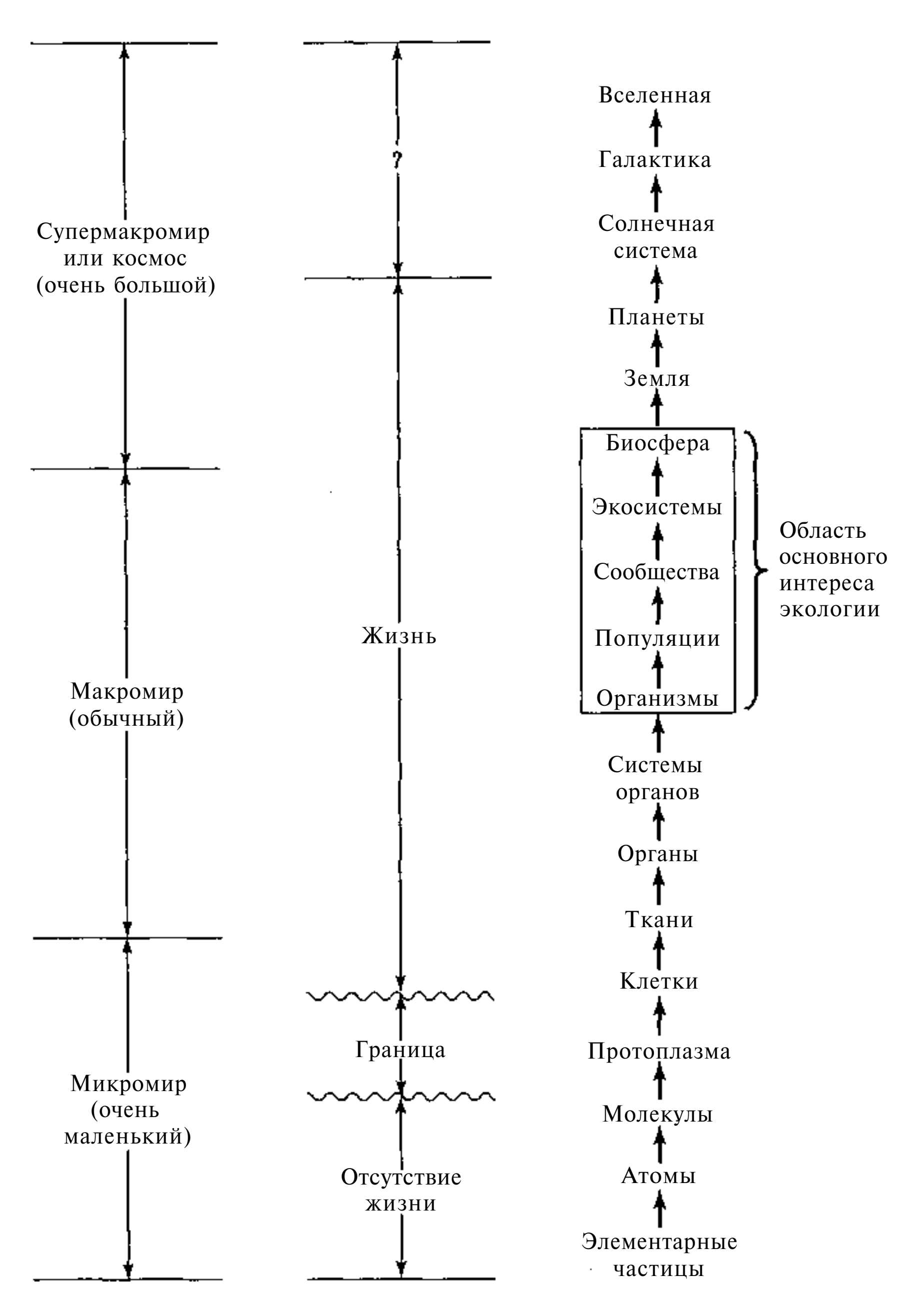


Рис. 1.1. Уровни организации материи (по Т. Миллеру)

понимали совокупность организмов и неживых компонентов среды их обитания, при взаимодействии которых происходит более или менее полный биотический круговорот (с участием продуцентов, консументов и редуцентов). В то же время продолжались широкие количественные исследования функциональных особенностей различных экосистем — их структуры, продуктивности, условий их устойчивости, трофических связей в экосистемах.

В начале 40-х годов В. Н. Сукачев (1880—1967) обосновал концепцию биогеоценоза, имевшую большое значение для развития теоретической базы экологии. В 50-е годы сформировалась общая экология, основное внимание в которой уделяется изучению взаимодействия организмов и структуры образуемых ими систем. К 70-м годам XX в. сложились направления, называемые «физиологической» и «эволюционной» экологией. В наши дни получили развитие «количественная» экология и математическое моделирование биосферных и экосистемных процессов.

Изучение общепланетарных процессов развернулось после выхода в свет в 1926 г. книги В. И. Вернадского «Биосфера», где рассмотрены свойства «живого вещества» и его функции в формировании как современного лика Земли, так и всех сред жизни на планете (водной, почвенной и воздушной). Предшественником и единомышленником В. И. Вернадского был В. В. Докучаев (1846—1903), создавший учение о почве как о естественно-историческом теле.

В. И. Вернадский (1863—1945) обосновал роль живого вещества как наиболее мощного геохимического и энергетического факторов — ведущей силы планетарного развития. В его работах ясно прослеживается значение для космоса жизни на планете Земля, а также значение космических связей для биосферы. Впоследствии эта космическая линия в экологии была развита в трудах А. Л. Чижевского, основателя современной науки гелиобиологии.

В. И. Вернадский проследил эволюцию биосферы и пришел к выводу, что деятельность современного человека, преобразующего поверхность Земли, по своим масштабам стала соизмерима с геологическими процессами на планете. В результате стало ясно, что использование природных ресурсов планеты происходит без учета закономерностей и механизмов функционирования биосферы. Тем не менее завершающим этапом эволюции биосферы он считал появление ноосферы — сферы разума (см. разд. 7.4.2.4).

В. И. Вернадский отмечал, что жизнь в геологически обозримый период всегда существовала в форме биоценозов — сложно организованных комплексов разных организмов. При этом живые организмы всегда были тесно связаны со средой обитания, образуя целостные динамические системы. В ходе развития жизни неоднократно происходила смена одних групп организмов другими, но всегда поддерживалось более или менее постоянное соотношение форм, выполняющих те или иные геохимические функции.

В табл. 1.1 приведен календарь событий, иллюстрирующий долгий путь становления экологии как науки.

Таблица 1.1

Календарь становления экологии как науки
(по *К. М. Петрову,* с дополнениями)

Годы	Автор	Страна	Экологическая информация
VI—IV вв.до н. э.		Древняя Индия	Эпическая поэма «Махабхарата» и «Рамаяна» — дано описание образа жизни и места обитания около 50 видов животных
490—430 до н. э.	Эмпедокл из Акраганта	Древняя Греция	Рассмотрел связь растений со средой
384—322 до н. э.	Аристотель	Древняя Греция	«История животных» — привел классификацию животных, имеющих окраску, связанную с условиями жизни
372—287 до н. э.	Теофраст (Феофраст)	Древняя Греция	«Исследования о растениях» — описал около 500 видов растений и их сообществ
79—23 до н. э.	Плиний старший	Древний Рим	«Естественная история» — обобщил данные по зоологии, ботанике, лесному хозяйству

Продолжение таблицы 1.1

Годы	Автор	Страна	Экологическая информация
1749	К. Линней	Швеция	«Экономика природы» — описал типологию местообитаний. Основы систематики
1749	Ж. Бюффон	Франция	«Естественная история» — высказал идеи изменчивости видов под влиянием среды
1798	Т. Мальтус	Англия	«Опыты о законе народонаселения» — предложил уравнение геометрического (экспоненциального) роста популяции, представил первую математическую модель роста популяции
1802	Ж.-Б. Ламарк	Франция	«Гидрогеология» — заложил основы концепции о биосфере, предложил термин «биология»
1809	Ж.-Б. Ламарк	Франция	«Философия зоологии» — дал представление о сущности взаимодействий в системе «организм — среда»
1836	Ч. Дарвин	Англия	Кругосветное путешествие на корабле «Бигль» — описал экологические наблюдения, которые легли в основу труда «Происхождение видов...»
1840	Ю. Либих	Германия	Сформулировал закон минимума

Продолжение таблицы 1.1

Годы	Автор	Страна	Экологическая информация
1845	А. Гумбольдт	Германия	«Космос», в 5 томах — сформировал законы географической зональности и вертикальной поясности в распределении растений и животных
1859	Ч. Дарвин	Англия	«Происхождение видов...» — привел большой материал о влиянии абиотических и биотических факторов среды на изменчивость организмов
1861	И.М. Сеченов	Россия	«...организм без внешней среды, поддерживающей его существование, невозможен; поэтому в научное определение организма должна входить и среда, влияющая на него»
1866	Э. Геккель	Германия	Предложил понятие «экология»
1870	Г. Спенсер	Англия	«Изучение социологии» — заложил основы экологии человека
1875	Э. Зюсс	Австрия	Предложил понятие «биосфера»
1877	К. Мебиус	Германия	Предложил понятие «биоценоз»
1895	Е. Варминг	Дания	«Экологическая география растений» — впервые использовал термин «экология» по отношению к растениям; предложил понятие «жизненная форма»

Продолжение таблицы 1.1

Годы	Автор	Страна	Экологическая информация
1896	У. Хэдсон	Англия	Предложил понятие «волны жизни» для описания динамики численности животных
1898	А. Шимпер	Германия	«География растений на физиологической основе» — одна из первых работ по экофизиологии
1903	К. Раункиер	Дания	Создал учение о жизненных формах растений на основе понятия, введенного Е. Вармингом
1910			Решением III Международного ботанического конгресса закреплено разделение экологии на экологию организмов (аутэкологию) и сообществ (ейнэкологию)
1911	В. Шел форд	США	Сформулировал закон толерантности
1912	Г. Ф. Морозов	Россия	«Учение о лесе» — классическая работа по изучению лесных сообществ
1915	Г. Н. Высоцкий	Россия	Предложил понятие «экотоп»
1915	И. К. Пачоский	Россия	Предложил понятие «фитоценоз»
1918	Х. Гаме	Швейцария, Австрия	Предложил понятия «биоценологии» как науки о сообществах живых организмов; «фитоценологии» — науки о растительных сообществах

Продолжение таблицы 1.1

Годы	Автор	Страна	Экологическая информация
1921	Х. Берроуз	США	«География как человеческая экология» — сформулировал задачу изучения взаимоотношения человека и территории, на которой он проживает
1926	В. И. Вернадский	СССР	«Биосфера» — определил глобальные функции живого вещества
1927	Э. Леруа	Франция	Предложил понятие «ноосфера», получившее дальнейшее развитие в трудах Т. де Шардена, В. И. Вернадского
1933	Д. Н. Кашка-	СССР	«Среда и сообщества», «Основы экологии животных» — первые отечественные учебники по экологии
1935	А. Тенсли	США	Предложил понятие «экосистема»
1939	Ф. Клементе, В. Шелфорд	США	Ввели термин «биоэкология», опубликовав одноименную монографию
1939	К. Тролль	Германия	Обосновал новое научное направление — «экология ландшафта»
1942	В. Н. Сукачев	СССР	Предложил понятие «биогеоценоз», заложил основы биогеоценологии

Окончание таблицы 1.1

Годы	Автор	Страна	Экологическая информация
1942	Р. Линдеман	США	Развил представление о трофических уровнях и «пирамиде энергий», установил правило 10%
1944	В. И. Вернадский	СССР	«Несколько слов о ноосфере»
1953	Ю. Одум	США	«Основы экологии» и «Экология» — одни из лучших современных учебников по экологии. Неоднократно переизданы. Русские переводы — 1975 и 1986 гг.
1963	В. Б. Сочава	СССР	Предложил понятие «геосистема»
1968	Дж. Форрестер, Д. Медоуз	США	Выдвинули идеи глобальной экологии в работах «Римского клуба»
1971	Б. Коммонер	США	«Замыкающийся круг» — сформулировал четыре закона экологии. Русский перевод — 1974 г.
1994	Н. Ф. Реймерс	Россия	«Экология (теории, законы, принципы и гипотезы)» — систематизировал понятия современной «большой экологии»

Параллельно с упомянутыми развивались географическое и геологическое направления экологии, а именно ландшафтная экология и динамическая геология — система наук о взаимодействии геосфер Земли и о воздействии на них антропогенных факторов.

1.3. Развитие современной экологии

1.3.1. Научные парадигмы XX века

Строго научная теория, воплощенная в системе понятий или исходная концептуальная схема, господствующая в течение определенного исторического периода в научном обществе, называется **парадигмой** (от греч. paradeigma — пример, образец).

В последние десятилетия естественные науки интенсивно развивают представления глобального эволюционизма. Вселенная в современном естествознании рисуется динамичной, эволюционирующей не монотонно, а через кризисные состояния, катастрофы, **бифуркации**[1]**,** сменяющиеся периодами запрограммированного развития. Классической и постнеоклассической (современной) картинам мира соответствуют существенно различные типы восприятия жизни. Традиционно природа представлялась в значительной мере стабильной и детерминированной (определенной, обусловленной), а кризисные состояния играли роль нарушений в закономерном развитии и течении жизни. Современная картина жизни определяет кризисные состояния как необходимую составляющую вечного развития материи.

Естествознание в XVIII—XIX вв. развивалось в соответствии с двумя основными принципами. Первый из них — это широко подтвержденное практикой представление об однозначности причинно-следственных связей (принцип детерминизма), с которыми связаны основные успехи в описании физических процессов, решение задач теоретической механики и многих технических наук. Фактически этот принцип лежит в основе современной технической цивилизации.

Второй важнейший принцип современной науки — ее основанность на эксперименте. При этом общепризнано, что предметом научного исследования могут быть только явления и процессы, полностью воспроизводимые в лабораторных условиях.

Однако развитие наук о жизни и в первую очередь экологии показало ограниченность подобных однозначных (линейных) представлений о мире. Выяснилось, что для всех сложных природных систем характерны свойства, описываемые

[1] Бифуркация (от лат. *bis* — дважды, *furcatus* — разделенный) — вилообразное раздвоение, разветвление.

лишь с помощью нелинейных моделей, для которых естественны ограниченность решений, колебательные и мультистационарные режимы, квазистохастическое пространственное и временное поведение, т. е. необходима замена парадигмы.

В сущности биология и экология никогда не соответствовали парадигме линейного мышления. Современные нелинейные модели были разработаны для описания и объяснения в первую очередь процессов в живой природе. Индивидуальность и разнообразие живых систем и нередко невоспроизводимость результатов сложных биологических экспериментов сегодня очевидны. Это новое направление биофизики и математики называют *современной парадигмой нелинейного мышления.* Ее суть в том, что все процессы в живой природе и большинство процессов в неживой описывают нелинейные уравнения. Действительно, живые системы являются открытыми по веществу и энергии и удалены от состояния термодинамического равновесия. Нелинейность их поведения объясняется, например, тем, что процессы роста популяции в зависимости от условий могут приводить к различным последствиям:

- стабилизации ее численности (в климаксных растительных сообществах);
- регулярным колебаниям численности;
- стохастическим вспышкам численности (у насекомых);
- пространственно-временным распределениям (например, к появлениям пятен планктона в океане).

Наконец, анализ демографических данных показывает, что развитие человечества идет столь нелинейно, что численность растет даже быстрее, чем экспоненциально. С. П. Курдюмов и С. П. Капица, предложившие математическую модель этого процесса, охарактеризовали его как режим «с обострением» или как взрывоподобную ситуацию, ведущую к **коллапсу**[1], с непредсказуемыми последствиями. Современное естествознание пришло к выводу, что неоднозначность и неустойчивость начальных условий есть естественное состояние природных систем. Одна из главных современных проблем нелинейной динамики состоит в том, чтобы разработать методы изучения подобных систем, критерии и условия их упорядоче-

[1] Коллапс (от лат. *collapsus* — ослабевший, уставший) — угрожающее жизни состояние. В медицине коллапс — состояние, характеризующееся внезапным падением артериального и венозного кровяного давления, приводящим к ухудшению кровоснабжения жизненно важных органов (мед.).

ния. Таким образом, невоспроизводимые явления также могут быть объектом научного исследования.

Признание современной наукой парадигмы нелинейного мышления знаменует конец представления о всесилии знания и возможности предсказания даже в случае полного понимания структуры системы.

Решения, найденные природой за миллионы лет, оптимальны и имеют громадную ценность. Попытки перекроить природу в угоду потребностям человека в конечном счете приводят к созданию искусственных экосистем с энергетической эффективностью, гораздо меньшей, чем у природных.

Примерами нелинейных моделей при описании разнообразных живых существ и их адаптации к изменениям среды обитания являются наличие порогов чувствительности к внешним воздействиям, парадоксальные реакции на сверхмалые дозы различных средовых воздействий, явления кумулятивного и синергического интегрального действия многочисленных факторов среды на организмы. Гомеостаз организма может быть представлен как система колебательных процессов. Способность к адаптации, реакция на стресс, реакция тренировки характеризуются нелинейными дозовыми зависимостями.

Необходимость изучения и описания систем с нелинейным поведением или с нелинейной динамикой в начале 70-х годов XX в. привела к возникновению особого междисциплинарного направления научных исследований, сформировавшегося в комплексную науку — **синергетику**[1] (от греч. *synergeia* — совместный, согласованно действующий). Синергетика исследует процессы самоорганизации в системах различной природы и прежде всего в живых. Под *самоорганизацией* понимают процессы возникновения пространственно-временных структур в сложных нелинейных системах, находящихся в состояниях, далеких от равновесия, при достижении ими особых критических точек — точек бифуркации. В этих случаях поведение живых систем становится неустойчивым. В точках бифуркации система под воздействием незначительных флуктуации (случайных отклонений какого-либо фактора) может резко изменить свое состояние. В эти переломные моменты принципиально невозможно предсказать, в каком направлении будет происходить дальнейшее развитие: станет ли система хаотичной или она перейдет на новый, более высокий уровень организации.

Термин «синергетика» ввел в 1994 г. немецкий физик Г. Хакен.

Формирование синергетики связано с работами И. Р. Пригожина, известными как **«теория диссипативных систем**[1]**».**

Аттрактор — (от лат. *attrahere* — притягивать, привлекать) — одно из ключевых в синергетике понятий, которое означает относительно стабильное состояние, как бы притягивающее к себе все множество возможных состояний системы, задаваемых начальными условиями.

Другое ключевое понятие синергетики — параметры порядка — немногочисленные параметры, через поведение которых можно описать поведение весьма сложной системы. Такими параметрами порядка в экологии биосферы являются, во-первых, установившиеся за миллионы лет круговороты биогенов, а во-вторых, энергетические связи в масштабах всей Земли, которые образуют цикл от первичных продуцентов до деструкторов. Подробное рассмотрение всех этапов глобального круговорота (см. разд. 6.3) демонстрирует наличие не просто кольца связей, а разветвленной сети из огромного количества разнообразных подсистем. Этим и объясняется устойчивость всей системы в целом.

В современной биологии доказано, что чем более устойчива система, т. е. чем разнообразнее ее элементы (живые организмы, биоценозы, экосистемы, из которых складывается биосфера Земли) и чем разнообразнее связи между ними, тем больше вероятность того, что система (биосфера Земли) не подвергнется окончательному (катастрофическому) разрушению по какой-либо причине.

Однако окончательный переход системы в кризисное или катастрофическое состояние зависит от силы воздействия, выводящей систему в состояние неустойчивости. Подробно этот вопрос с учетом развития цивилизации и роста населения Земли рассмотрен в гл. 8.

Математические модели и качественные понятия применимы к развитию представлений не только об экологических кризисах и катастрофах, но и об экологическом риске (Г. А. Ягодин, Г. Г. Малинецкий, В. А. Легасов и др.).

Состояние неустойчивости, характеризующее чувствительную к флуктуациям систему, необходимо для любого процесса развития, ибо смена точек бифуркации и периодов более или менее устойчивого развития есть природная закономерность. Она лежит в основе эволюции биосферы, процессов онтогенеза

[1] Диссипативные системы — открытые системы, в которых наблюдается прирост энтропии.

(индивидуального развития) организма, а также и социального развития общества.

Если внешнее возмущение слишком велико, система с некоторым запаздыванием покидает свои пределы толерантности (устойчивости, см. разд. 3.2.2) и прекращает существование. Изучение критических возмущений важно не только для исключения фатального антропогенного воздействия, но и для предотвращения опасного сочетания возмущений, так как для биосферы в ответ на сочетание многих воздействий характерны синергетические (интегральные) эффекты. Техногенные воздействия на природу медленно, но верно изменяют природные сообщества: снижая видовое разнообразие, уменьшают диапазон их толерантности.

История Земли знает ряд экологических кризисов и катастроф. Одна из экологических катастроф, вероятно, была связана с накоплением кислорода в океане и атмосфере. При этом произошло массовое вымирание анаэробных организмов. Другие доантропогенные катастрофы преимущественно происходили при изменениях климата, и, как следствие, менялись растительность и животный мир. При катастрофах в периоды горообразования и изменения климата вымирало до 50% живого на Земле. Однако эти процессы длились тысячи и миллионы лет, и к ним биосфера успевала приспособиться путем естественного отбора.

Самоускорение научно-технического прогресса и его пагубное влияние на биосферу Земли, так же как и рост численности населения человечества, описывает синергетическая модель С П . Курдюмова («режим с обострением» или самоускоряющийся процесс с положительными обратными связями).

Антропогенный фактор, вызывающий разрушение биосферы, является флуктуацией, вызванной популяционным взрывом. Система «общество — природа» по теории И. Р. Пригожина, достигнув точки бифуркации, должна будет перестроиться. Однако распад старой системы отнюдь не должен означать переход ее в хаотическое состояние. Бифуркация — это толчок к развитию биосферы по новому, совершенно неведомому нам пути. О судьбе биосферы в будущем беспокоиться не следует, вероятнее всего она продолжит свое развитие. Однако место и роль человека при этом непредсказуемы.

В интересах современного человечества — не доводить дело до крайности (до точки бифуркации), а постараться сохранить биосферу в современном привычном человеку состоянии.

1.3.2. Экология в системе естественных наук и ее структура

Современная экология — это фундаментальная наука о природе, являющаяся комплексной и объединяющая знание основ нескольких классических естественных наук: биологии, геологии, географии, климатологии, ландшафтоведения и др. Согласно основным положениям этой науки, человек является частью биосферы как представитель одного из биологических видов и так же, как и другие организмы, не может существовать без биоты, т. е. без совокупности живущих ныне на Земле биологических видов, которые и составляют среду обитания человечества.

Экологические системы, как и живые системы других уровней организации, являются весьма сложными, характеризуются нелинейной динамикой и их поведение в математических моделях описывают такие современные науки, как динамическая теория систем и синергетика. В моделировании экосистем определенную роль сыграли также представления кибернетики (науки об управлении) о теории регулирования, об устойчивости и неустойчивости, об обратных связях.

В наше время термином «экология» все чаще обозначают совокупность взаимоотношений природы и общества. Рассматривая структуру современной экологической науки, примерно соответствующую структуре естественнонаучной дисциплины в высших учебных заведениях, можно выделить три основные ветви экологии.

Первая ветвь. Общая экология, или биоэкология, — это изучение взаимоотношений живых систем разных рангов (организмов, популяций, экосистем) со средой и между собой. Эту часть экологии в свою очередь подразделяют на следующие разделы:

- аутэкологию, т. е. изучение закономерности взаимоотношений организмов отдельного вида со средой обитания (см. гл. 2, 3 и разд. 8.1);
- демэкологию или экологию популяций (см. гл. 4 и разд. 8.2);
- синэкологию, т. е. экологию сообществ (см. гл. 5);
- экосистемную и биосферную экологию (см. гл. 6, 7).

Вторая ветвь. Геоэкология — это изучение геосфер, их динамики и взаимодействия (см. разд. 7.2), геофизических условий жизни, факторов (т. е. ресурсов и условий) неживой окружающей среды, действующей на организмы.

Третья ветвь. Прикладная экология — это аспекты инженерной, социальной, экономической охраны среды обитания человека, проблем взаимоотношений природы и общества, экологических принципов охраны природы (см. разд. 8.3, гл. 9 и 10).

1.3.3. Экология как мировоззрение

Экологический кризис, в состоянии которого находится сейчас наша планета, является следствием не только роста населения, но и кризиса сознания. Так, если в XVIII—XIX вв. и ранее в сознании человечества преобладало понятие долга, нравственного, семейного, государственного, религиозного, то в XIX—XX вв. большое распространение получили идеалы потребления, комфортабельной, приятной жизни. Человечество на этом пути не достигло счастья, однако потеряло возможность жить в ладу с природой и с самим собой.

В результате к концу XX в. термин «экология» перешагнул границы университетских аудиторий и превратился в политический лозунг и в обозначение определенного типа мировоззрения.

Для специалиста, занимающегося экологией, неприемлем термин «окружающая среда», поскольку предметом экологии является природа, а также взаимодействия и взаимоотношения организмов в ней, но никак не среда, окружающая и обслуживающая человека.

Если большая часть XX в. прошла под флагом эйфории от технологических успехов, то теперь человек понял, что он дитя природы, а не ее хозяин и властелин; сама возможность жизни человека на планете обеспечивается сложившейся в биосфере за тысячелетия скоординированной жизнедеятельностью всех биологических видов. Такое мировоззрение может быть названо биоцентрическим, в отличие от антропоцентрического, в котором в центре природы и мироздания стоит человек, и от социоцентрического, в котором центром и целью жизни самого человека является тоталитарная социальная или производственная система.

В трудах выдающегося гуманиста XX в. А. Швейцера (1875—1965) — немецко-французского мыслителя, теолога и миссионера — биоцентрическая точка зрения выражена в словах «благоговение перед жизнью», которые, по-видимому, представляют собой единственно приемлемую этическую основу взаимоотношений человека и живой природы.

Научные представления и математические модели, которые были упомянуты ранее, послужили основанием для современной **футурологии**[1] и различных социально-экономических прогнозов.

В соответствии с произошедшими изменениями в мировоззрении и науке все чаще акцентируют внимание на концепции русской классической школы биологов и экологов, направленной на изучение явлений коэволюции в природе, и в том числе возможности сопряженной эволюции человека и биосферы. Эта концепция разработана в трудах В. И. Вернадского, Н. В. Тимофеева-Ресовского и философской школы русских космистов, т. е. исследователей, которые, с одной стороны, изучали естественные законы существования биосферы, а с другой стороны, философски осмысливали цель жизни человека и человечества в целом.

1.4. Экологические проблемы России

Движение за охрану природы зародилось в России еще до 1917 г., причем существовали различные взгляды на его необходимость. Одна из концепций, основывающаяся преимущественно на эстетических и этических критериях, представлена в работах А. П. Семенова-Тянь-Шанского. Основа этой концепции — в убежденности, что человечество представляет собой элемент, само существование которого разрушает присущую природе гармонию.

В другой концепции (Г. А. Кожевникова и В. В. Станчинского) природа представлена как некая четкая структура, характеризующаяся взаимозависимостью между составляющими ее биологическими компонентами и относительной равновесностью, а человечество рассматривалось как нечто чуждое гармоничным и исконно существующим природным системам. Приверженцы этой концепции были глубоко обеспокоены тем, что цивилизация с большой скоростью разрушает равновесие в природных системах и рискует разрушить саму себя.

Сторонники третьей, утилитарной концепции исповедовали принцип устойчивого урожая и максимальной эффектив-

1 Футурология (от лат. *futurum* — будущее и греч. *logos* — учение) — комплексная дисциплина, основывающаяся на данных общественных и естественных наук и ставящая целью предвидение будущего развития человечества и отдельных сфер жизни общества.

ности использования природных ресурсов. Они были склонны к узкому толкованию понятия «ресурсы» и руководствовались критериями сиюминутной хозяйственной выгоды. Живое делили на «полезное» и «вредное» и последнее обрекали на истребление. Прагматики не учитывали целостность экологических систем и были восприимчивы к целям и методам, навязываемым политическим руководством.

В первые годы советской власти возобладал экологический подход к охране природы. Были организованы заповедники, представлявшие собой уникальные учреждения, с функциями центров экологических исследований, а также эталонов определенных природных зон.

Несмотря на первоначальные успехи, положение экологически ориентированной охраны природы не было по-настоящему устойчивым. Главными препятствиями стали новые приоритеты и задачи пятилетних планов. Появились идеи преобразования и покорения природы. Был сформирован образ человека как «венца эволюции». Прогресс в развитии человечества стали отождествлять с его полным господством над всем ходом жизни на планете.

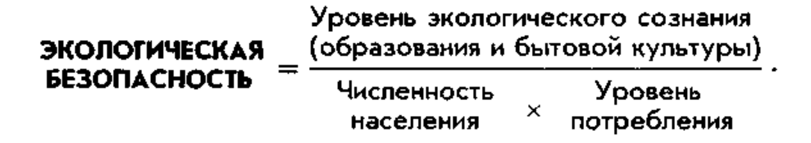
Преобразовательский пафос стал проявлением крайнего антропоцентризма. Природу превратили в противника, которого следует победить в процессе созидания рукотворной окружающей среды. Результатом этого стало превращение лесозаготовительных работ в тотальное уничтожение лесных экосистем (в 1970—80-х гг.), разработка проектов по повороту рек, проведение работ по акклиматизации различных промысловых животных и по мелиорации (осушению) ценных болотных экосистем, освоение целины, а также множество иных проектов, приведших к уничтожению многих естественных экосистем России.

Справедливости ради следует заметить, что многие развитые страны к середине XX в. достаточно преуспели в деле «покорения природы» как на территории своих стран, так и в колониях.

В настоящее время Россия активно участвует в работе международных конференций и организаций по охране окружающей среды, присоединилась к многочисленным международным соглашениям в этой области.

Усилиями средств массовой информации и экологов в сознание людей и в государственную практику России внедряют понятие экологической безопасности как элемента государственной и личной безопасности. Важное место в программе действий в области экоразвития занимает всеобщее экологическое

образование, первостепенное значение которого, а также бытовой и производственной экологической культуры определяет следующая формула:



Анализ положения России на экологической карте мира показывает, что она является одной из восьми стран, состояние природной среды в которой определяет состояние биосферы в целом. Помимо России, к числу таких стран относят США, Японию, Германию, Китай, Индию, Индонезию и Бразилию.

Несмотря на печальные последствия проводившихся преобразований природы и длительного экстенсивного развития, в России сохранились достаточно большие нетронутые деятельностью человека экосистемы (в основном на севере и в Сибири).

По современным данным ООН Россия находится на четвертом месте в мире по видовому разнообразию наземных экосистем. Она имеет 99 заповедников и 33 национальных парка (к сожалению, занимающих всего 2% территории страны). Это — наследство будущих поколений россиян, шанс на сохранение жизнеспособности страны.

По другим важнейшим показателям состояния природной среды и человеческой популяции в России, а именно по средней продолжительности жизни и по показателю здоровья населения, страна находится на значительно более низком уровне. Экономические и социальные кризисы последних лет, низкая культура производства привели к тому, что по показателю здоровья населения Россия занимает 35—40-е место, по средней продолжительности жизни женщин — 100-е, а мужчин — 135-е место в мире.

Здоровье природной среды и здоровье населения России необходимо внести в число приоритетов государственной политики нашей страны. Столь же необходимо грамотное отношение к проблемам здоровья каждого отдельного человека. Именно эти обстоятельства послужили причиной введения в программы общего обязательного образования вузов России самостоятельной дисциплины «Экология».

Контрольные вопросы и задания

1.1. Что такое экология? Кто ввел в науку термин «экология»?
1.2. Перечислите этапы исторического развития экологии как науки. Какова роль отечественных ученых в ее становлении и развитии?
1.3. Кто был основателем научной систематики растений и животных?
1.4. В чем особенности современных представлений об экологии?
1.5. Какой вклад в развитие экологии внесли ученые древнего мира?
1.6. Когда впервые люди получили мощный рычаг воздействия на природу?
1.7. Почему каждому члену общества необходима экологическая культура и экологическое образование?
1.8. Чем отличается биоцентрическое и антропоцентрическое мировоззрения в экологии?
1.9. Каковы основные причины конфликта между обществом и природой в современных условиях?
1.10. Почему возрос общественный интерес к экологии в конце XX в.?

ГЛАВА 2

ОРГАНИЗМ И СРЕДА ОБИТАНИЯ

Жизнь — активное поддержание и самовоспроизведение специфической структуры, идущее с затратой полученной извне энергии. Жизнь на Земле существует в виде отдельных организмов, и независимо от строения и размеров, организмы всегда обособлены от окружающей их среды, при этом постоянно находятся во взаимодействии с ней.

Для живого характерен ряд свойств, которые в совокупности «делают» живое живым. Такими свойствами являются самовоспроизведение, целостность и дискретность, рост и развитие, обмен веществ и энергии, наследственность и изменчивость, раздражимость, движение, внутренняя регуляция, специфичность взаимоотношений со средой.

Живой организм — целая биологическая система, состоящая из взаимозависимых и соподчиненных элементов, взаимоотношения которых и особенности строения определены их функционированием как целого. Главные отличия живых организмов — *способность к саморегуляции* (сохранению строения, состава и свойств) и *способность к самовоспроизведению* (многократному повторению своих характеристик в поколениях). По определению акад. М. В. Волькенштейна «Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот».

Клетка — основная структурно-функциональная единица всех живых организмов, элементарная живая система. Она может существовать как отдельный организм (бактерии, простейшие, некоторые водоросли и грибы), так и в составе тканей многоклеточных организмов. Лишь вирусы представляют собой неклеточные формы жизни.

Со времен Аристотеля организмы прежде всего подразделяют на растения и животных, клетки которых принципиально одинаковы. В современной науке — систематике, описываю-

щей все разнообразие живой природы, выделяют ряд **таксонов**[1], наиболее крупные из которых — бактерии, простейшие, грибы, растения и животные; в пределах каждого царства — типы, классы и более мелкие таксоны — группы организмов, различающихся по структуре тела и органов и по способам осуществления жизненных функций.

Тем не менее большинство современных ученых признает необходимость выделения таксона более высокого ранга. Это, во-первых, **прокариоты** (от лат. *pro* — перед, раньше, вместо и греч. *karyon* — ядро) — только одноклеточные организмы, не имеющие истинного ядра, ограниченного мембраной. К ним относятся бактерии, включая архе- и цианобактерии. Аналогом ядра служит структура, состоящая из белков, дезоксирибонуклеиновой (ДНК) и рибонуклеиновой (РНК) кислот. Они лишены хлоропластов, митохондрий и аппарата Гольджи. Во-вторых, это **эукариоты** — одно- и многоклеточные организмы, имеющие в клетках истинное ядро. К ним относятся все остальные организмы. Деление на прокариотов и эукариотов характерно и для самых древних организмов.

2.1. Состав клетки

Живые тела наряду с веществами, распространенными в неживой природе, содержат множество веществ, характерных только для живых организмов (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Химический состав клетки (%)

Неорганические соединения		Органические соединения	
Вода	70—80	Белки	10—20
		Углеводы	0,2—2,0
Неорганические вещества	1,0—1,5	Липиды (жиры)	1,0—5,0
		Нуклеиновые кислоты	1,0—2,0
		АТФ[1] и другие низкомолекулярные органические вещества	0,1—0,5

АТФ — аденозинтрифосфорная кислота.

Таксон — группа организмов, связанных той или иной степенью родства и достаточно обособленная, чтобы ей можно было присвоить определенную таксономическую категорию какого-либо ранга (вид, род, семейство и т. д.).

Из числа существующих на Земле химических элементов всеми необходимыми свойствами для того, чтобы быть структурными компонентами живого вещества, обладают лишь соединения углерода. Уникальная способность углерода создавать углерод-углеродные связи, составлять полимерные цепи и кольца, содержащие как одинарные, так и кратные углерод-углеродные химические связи, позволяет образовывать огромное количество разнообразных органических соединений.

Подобным свойством образовывать химические связи с самим собой обладают еще два элемента — сера и кремний, однако они сильно уступают углероду. В результате построение живого вещества на основе преимущественно серы или кремния невозможно. Тем не менее кремний- и серосодержащие органические соединения в живой природе многочисленны и играют важную роль.

Среди неорганических веществ, входящих в состав клетки, первое место занимает вода. Ее роль чрезвычайно велика: большинство химических процессов протекает только в водных растворах, вода обеспечивает терморегуляцию, многие вещества поступают в клетку и выводятся из нее в виде водных растворов.

Биогенные элементы — химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и необходимые им для жизнедеятельности. В составе живого вещества более 70 элементов периодической системы Д. И. Менделеева, причем больше всего (около 98% по массе) в клетках кислорода, водорода и углерода. К числу так называемых «универсальных» элементов (присутствующих в клетках всех организмов) относятся азот, кальций, калий, фосфор, магний, сера, хлор, натрий.

Свыше 30 металлов (Al, Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, Co, Ni, Sr, Se, As и др.) и неметаллов (I, Br, F, B), содержащихся в клетках в малых количествах (обычно тысячные доли процента и ниже) и исключительно необходимых для жизнедеятельности клеток (см. закон Ю. Либиха в разд. 3.2.1), называют **микроэлементами.**

Сравнение химического состава живого и косного вещества Земли — земной коры и вод Мирового океана показывает несоответствие распространенности химических элементов в косных компонентах и живом веществе (рис. 2.1, *а—г).* Так, в земной коре содержание углерода в 70 раз ниже, чем в живом веществе, а кремния, наоборот, намного больше.

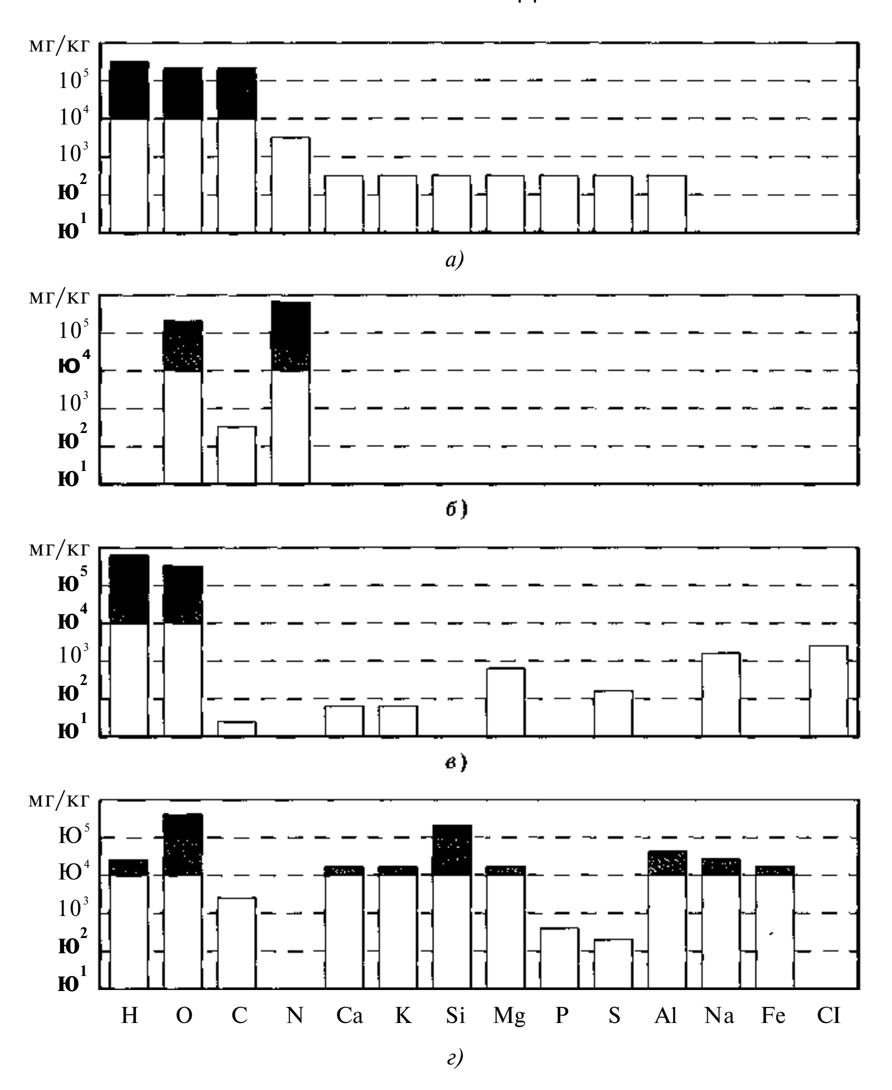


Рис. 2.1. Распространенность химических элементов в живом веществе (а), атмосфере *(б),* гидросфере, литосфере (е) (по *В. Лархеру)*

Недостаток или недоступная для усвоения организмом форма в окружающей природной среде какого-либо необходимого для жизнедеятельности химического элемента ограничивает рост и размножение живых организмов.

В живых клетках обнаруживают следы практически всех элементов, присутствующих в ОС. Различия в ходе геологиче-

ской истории и почвообразующих процессов в отдельных областях Земли привели к формированию **биогеохимических провинций** — областей на поверхности Земли, резко отличающихся по содержанию каких-либо химических элементов, например урановые и ториевые провинции (см. разд. 3.1.1.1). Значительная недостаточность или избыточность содержания химического элемента в среде вызывает в пределах данной биогеохимической провинции соответствующие эндемии — специфические заболевания растений, животных и человека (см. разд. 8.1.5).

2.2. Обмен веществ

Во всех клетках происходит интенсивное обновление веществ и структур. Так, некоторые клетки человека живут всего один-два дня (клетки кишечного эпителия). Поэтому непременным условием жизни является связь клетки с ОС. Из среды клетка получает различные вещества, которые затем подвергаются превращениям, ведущим к высвобождению энергии, необходимой для клеточной активности. Из поступающих в клетку веществ синтезируются органические соединения, необходимые для построения структур клетки. Во внешнюю среду выводятся не нужные клетке вещества — продукты разложения органических веществ.

Пластический обмен (или ассимиляция) — совокупность реакций синтеза органических молекул, идущих на построение тела клетки. В клетках зеленых растений органические вещества могут синтезироваться из неорганических с использованием энергии света или химической энергии. В клетках животных ассимиляция может идти только за счет использования для синтеза собственных веществ (готовых органических соединений). Процессы ассимиляции протекают с поглощением энергии.

Энергетический обмен (или диссимиляция) — совокупность реакций, в результате которых освобождается необходимая для клетки энергия.

Совокупность процессов диссимиляции и ассимиляции, в ходе которых реализуется связь клетки с окружающей средой, называют обменом веществ или **метаболизмом:**

ПЛАСТИЧЕСКИЙ ОБМЕН + ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН = МЕТАБОЛИЗМ.

Обмен веществ — фундаментальное свойство живых организмов.

2.2.1. Пластический обмен

2.2.1.1. Биосинтез белков

Любая клетка организма способна синтезировать свои специфические белки. Эта способность обусловлена генетически и передается из поколения в поколение. Информация о структуре белков содержится в ДНК. Участок молекулы ДНК, содержащий информацию о первичной структуре конкретного белка, называется геном.

Синтез белка начинается с *транскрипции* — процесса списывания информации о структуре белка с участка ДНК (гена) на информационную РНК. В ядре клетки находятся ДНК, а синтез белка обычно протекает в цитоплазме на рибосомах. Перенос информации о первичной структуре белка к месту синтеза обеспечивает РНК. Аминокислоты, необходимые для сборки белковых молекул, доставляются к рибосомам цитоплазмы транспортными РНК. Биосинтез протекает в присутствии множества ферментов, катализаторов всех реакций процесса. Процесс идет с участием АТФ, при распаде которой освобождается энергия, необходимая для его осуществления.

Мутация (от лат. *mutatio* — перемена) — качественные, внезапно появляющиеся изменения генов, передаваемые далее из поколения в поколение. Эта форма наследственной изменчивости заключается в изменении строения или количества единиц наследственности — генов или их носителей — хромосом. В ряде случаев мутации связаны с изменениями во внешней среде.

2.2.1.2. Фотосинтез

Фотосинтез — процесс синтеза органических соединений из неорганических веществ, идущий за счет энергии света (рис. 2.2).

Все живое современной биосферы зависит от этого процесса. Фотосинтез делает энергию Солнца и углерод доступными для живых организмов и обеспечивает обогащение кислородом атмосферы Земли. Процесс фотосинтеза описывается суммарным уравнением

$$6C0_2 + 6H_20 + \text{солнечная энергия} \quad C_6H_{12}0_6 + 60_2$$

Русский ученый К. А. Тимирязев показал, что для осуществления фотосинтеза необходим *хлорофилл* — вещество зе-

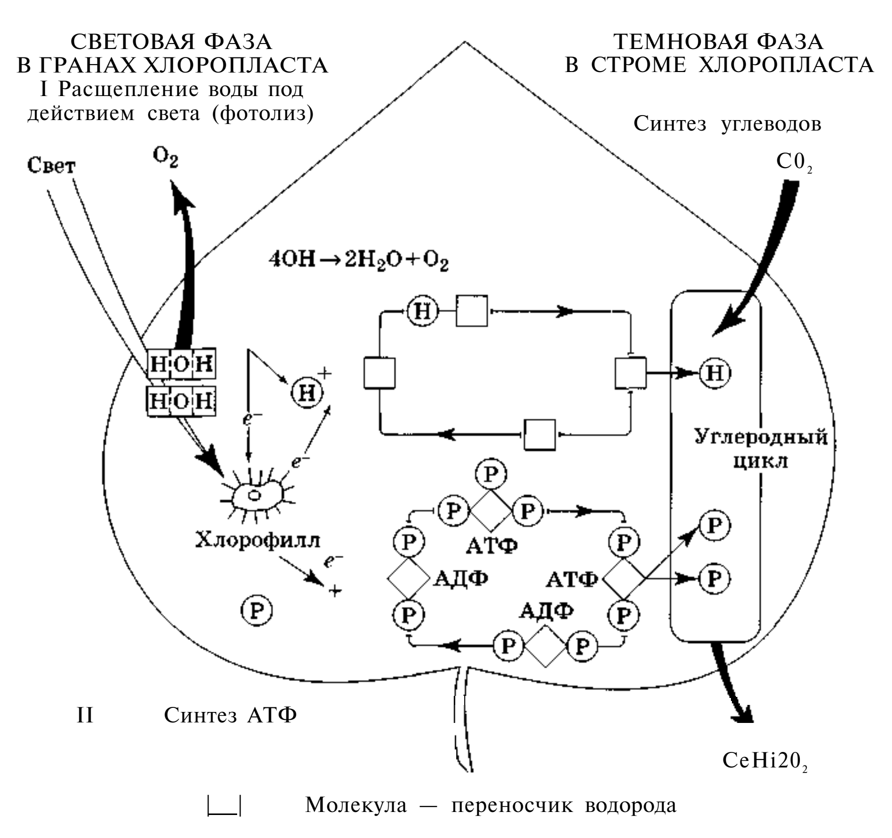


Рис. 2.2. Процесс фотосинтеза (по *С. Г. Мамонтову)*

леного цвета, поглощающее солнечные лучи в красной и сине-фиолетовой частях спектра. У высших растений хлорофилл находится во внутренних мембранах хлоропластов — специализированных органелл растительной клетки, где происходят реакции фотосинтеза.

Фотосинтез протекает в две фазы — световую и темновую. Световая фаза идет только на свету, при этом под действием света молекулы хлорофилла теряют электроны и переходят в возбужденное состояние. Под влиянием положительно заряженных молекул хлорофилла по уравнению

$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2\uparrow + 4e$$

происходит фотолиз воды с образованием молекулярного кислорода, электронов и протонов. Энергия солнечного излучения в световой фазе фотосинтеза используется хлоропластами для синтеза АТФ из аденозиндифосфата (АДФ) и фосфата, а также

для восстановления НАДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфата) до НАДФ • H_2.

В темновой фазе в присутствии АТФ и НАДФ • H_2 при участии ферментов из диоксида углерода и водорода образуется глюкоза:

$$6CO_2 + 24H^+ \xrightarrow{АТФ} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$$

Углеводы, получавшиеся в процессе фотосинтеза, используются далее как исходный материал для синтеза других органических соединений.

2.2.1.3. Хемосинтез

Хемосинтез — синтез органических соединений из неорганических веществ с использованием химической энергии, выделяющейся в реакциях окисления неорганических веществ.

Процесс хемосинтеза открыт русским ученым-микробиологом С. Н. Виноградским в 1887 г. Некоторые группы бактерий — нитрифицирующие, железобактерии, серобактерии способны накапливать освобождающуюся в процессах окисления энергию и затем использовать ее для синтеза органических веществ. Процесс хемосинтеза протекает без участия хлорофилла, для его осуществления не обязательно наличие света.

Например, нитрифицирующие бактерии окисляют аммиак до азотистой кислоты:

NH^ + кислород —> $N0_2$ + Энергия

или по уравнению реакции

$2NH_3$ + 30_2 -» $2HN0_2$ + $2H_20$ + Энергия

Освобождающаяся энергия накапливается в молекулах АТФ и используется для синтеза органических веществ, протекающего по типу реакций темновой фазы фотосинтеза. Хемосинтезирующие бактерии играют важную роль в круговороте веществ. Нитрофицирующие бактерии способствуют накоплению в почве нитратов.

2.2.2. Энергетический обмен

Энергия существует в природе в различных формах. Это прежде всего энергия солнечного света, а также химическая, тепловая и электрическая. Организмам энергия необходима для активного транспортирования веществ, для синтеза белков и иных биомолекул, для мышечных сокращений при пере-

метении в пространстве, для клеточного деления и т. д. Осуществление этих процессов и восполнение неизбежных потерь в ОС в соответствии с классическими законами термодинамики (см. разд. 6.3.5) возможны только при постоянном притоке энергии в организм из среды обитания.

Первоисточником энергии в природе является Солнце, но его энергию могут использовать только фотосинтетики, а все остальные организмы могут получать эту энергию лишь опосредовано, т. е. в форме энергии химических связей между атомами органических соединений. При разрыве связей энергия может высвобождаться, но чаще всего она временно запасается в виде особо богатого энергией нуклеотида — **аденозинтрифосфорной кислоты** (АТФ) — используемого клеткой для всех дальнейших процессов жизнедеятельности.

Главная роль в энергетическом обмене клеток животных принадлежит дыхательному обмену или клеточному дыханию. **Клеточное дыхание** представляет собой процесс, в котором высокомолекулярные органические высокоэнергетические соединения, окисляясь распадаются на низкомолекулярные или неорганические соединения, бедные энергией. При окислении с участием кислорода дыхание называют **аэробным,** а без его участия — **анаэробным.**

Процесс потребления кислорода из среды обитания и возвращения в эту среду диоксида углерода называется **газообменом организма с окружающей средой.** Это иной процесс, отличный от клеточного дыхания; путать их нельзя.

Более половины энергии, ежедневно расходуемой человеком, затрачивается на мышечную работу. Запасы одних только углеводов могут удовлетворить энергетические потребности нашего организма в течение примерно 12 ч, тогда как человек среднего телосложения может обходиться без пищи, по крайней мере, в течение шести недель.

Животным, впадающим в зимнюю спячку и снижающим скорость метаболизма, накопленных летом запасов жира хватает на долгие месяцы. Последовательность расходования высокомолекулярных соединений в организме (на примере человека, рис. 2.3) следующая: прежде всего углеводы, затем жиры (у животных) или масла (у растений), и в последнюю очередь белки.

Выделение энергии, необходимой для любого процесса жизнедеятельности клетки, происходит при отщеплении от аденозинтрифосфорной кислоты, называемой также аденозинтрифосфатом (АТФ), одной фосфатной группы (фосфата)

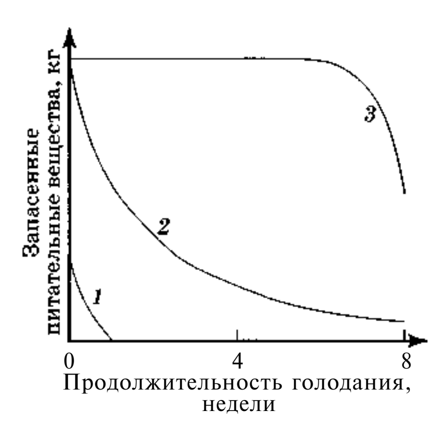


Рис. 2.3. Расходование запасов питательных веществ при голодании (по *П. Кэмпу, К. Армсу):* вначале жиры составляли 15% веса тела: *1* — углеводы; *2* — жиры; *3* — белки

с образованием аденозиндифосфата (АДФ) в соответствии с уравнением

$$АТФ + H_20 \rightarrow АДФ + $$
$$+ Фосфат + Энергия.$$

Структура строения аденозинфосфатов и схема процессов, протекающих при энергетическом обмене, показаны на рис. 2.4, где знаком «~» обозначены так называемые «богатые энергией» связи. При отщеплении от АДФ еще одной фосфатной группы образуется аденозинмонофосфат (АМФ).

Существенную роль в поддержании равновесия между разновидностями аденозинфосфорных кислот играет обратимая ферментативная реакция

$$АТФ + АМФ \leftrightarrow 2\ АДФ$$

Энергетический обмен клетки осуществляется в три этапа.

Подготовительный этап — сложные органические соединения распадаются на более простые: белки на аминокислоты, полисахариды на моносахариды и т. п.

Этап неполного окисления (анаэробное дыхание или брожение). Неполному окислению могут подвергаться глюкоза, жирные кислоты, аминокислоты. При этом главным источником энергии в клетке является глюкоза. При бескислородном окислении одной молекулы глюкозы (процесс гликолиза) из двух молекул АДФ образуются две молекулы АТФ. В процессе гликолиза для нужд клетки извлекается не более 10% энергии.

Этап полного расщепления (аэробное дыхание) протекает с обязательным участием кислорода. При дыхании последовательно проходит ряд ферментативных реакций. В условиях полного окисления, сопряженного с фосфорилированием АДФ до АТФ, недоокисленные продукты гликолиза отдают для нужд клетки оставшуюся в их химических связях энергию, которая аккумулируется в АТФ. Энергия АТФ превышает

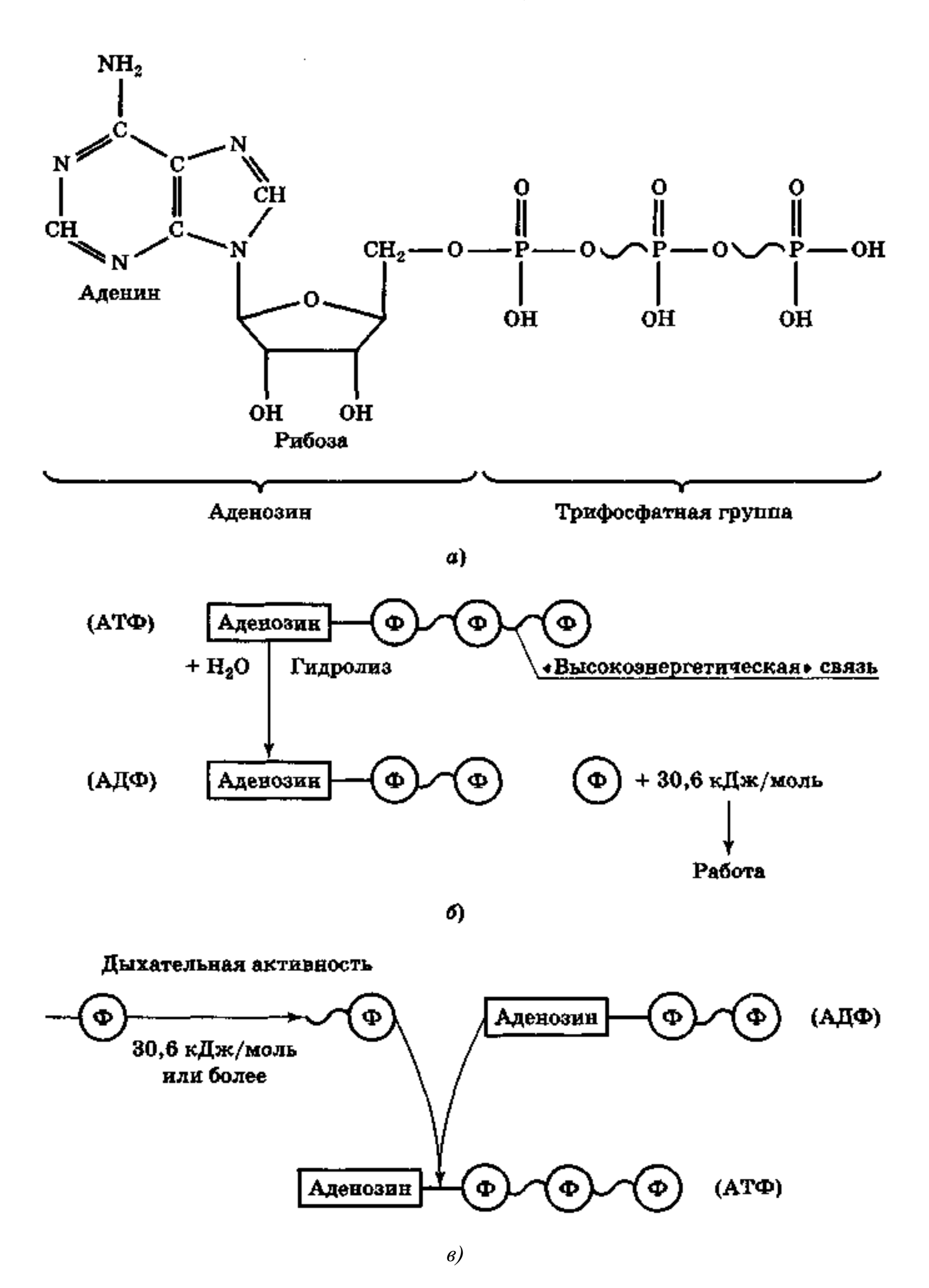


Рис. 2.4. Структуры АТФ и АДФ (а), гидролиз АТФ *(б)* и рефосфорирование АДФ в результате дыхательной активности (в): Ф — фосфатная группа

энергию АДФ на 30,6 кДж/моль, а энергию АМФ — на 2 • 30,6 = = 61,2 кДж/моль.

Запас АТФ в клетке невелик. Так, в мышце запаса АТФ хватает на 20—30 сокращений. Для нескольких тысяч сокращений и работы мышцы часами необходим непрерывный синтез АТФ. Один из способов образования АТФ в клетке заключается в переносе под действием ферментов высокоэнергетической фосфатной группы от какой-нибудь другой молекулы (например от дифосфоглицерата) на АДФ.

Для восполнения израсходованной АТФ используют энергию, освобождаемую в результате расщепления питательных веществ.

АТФ — единый и универсальный источник энергообеспечения клетки.

2.3. Экологические категории организмов

Поскольку внешняя среда служит для организма источником энергии и материала для построения собственного тела, а отходы метаболизма, уже не пригодные для использования, выводятся обратно в среду обитания, то любой организм или группа одинаковых организмов в процессе жизнедеятельности будут неизбежно изменять внешнюю среду, истощая ее ресурсы и перегружая отходами. В силу этого постоянство состава среды возможно лишь при наличии большого разнообразия организмов, населяющих общую территорию.

Физиологическая разнокачественность организмов, т. е. способность использовать для своей жизнедеятельности различные источники энергии и химические субстраты, является необходимым условием жизни на Земле.

Многообразие биологических видов рассмотрено в гл. 5. Остановимся на самых общих особенностях обмена веществ и пищевой специализации основных категорий организмов, каждая из которых в свою очередь состоит из множества разнообразных групп, взаимно дополняющих друг друга так, что их совместная жизнедеятельность обеспечивает последовательное использование выделяемых в среду продуктов метаболизма и поддержание постоянства состава и свойств среды.

В общем виде набор взаимодополняющих категорий представлен продуцентами, консументами и редуцентами.

Продуценты — организмы, способные синтезировать органические вещества из неорганических с использованием внешних источников энергии. Так как продуценты сами производят органическое вещество, их называют **автотрофами** — самопитающимися, в отличие от всех остальных организмов, которые называют **гетеротрофами** — питаемыми другими.

В соответствии с источниками энергии, используемыми для синтеза органического вещества, автотрофы подразделяются на **фототрофов** (использующих энергию Солнца) и **хемотрофов** (использующих энергию химических связей, высвобождающуюся в процессе окисления минеральных веществ).

Основную массу фототрофов составляют зеленые растения, в клетках которых содержится хлорофилл и происходит процесс фотосинтеза. К этой категории также относятся цианобактерии и некоторые другие бактерии, проводящие фотосинтез не в хлорофилле, а в иных специализированных пигментах.

К хемотрофам относятся только бактерии, окисляющие различные минеральные вещества (нитрофицирующие бактерии, железобактерии, серобактерии и др.).

В природных сообществах продуценты играют важную роль: усваивая энергию Солнца или химических реакций и создавая органическое вещество, они как бы образуют запасы энергии, которая затем в виде пищи передается другим организмам.

Консументы (от лат. konsumo — потребляю) — организмы, не способные строить свои организмы из неорганических веществ и нуждающиеся в готовой органической пище. Это органическое вещество создается автотрофами. Пища используется консументами и как источник энергии, и как материал для построения их тела. К консументам относятся все животные от мельчайших примитивных до самых совершенных, включая человека. Есть консументы и среди растений: это паразитирующие на других растениях. Существуют также растения со смешанным типом питания, например, росянки.

Среди консументов-животных выделяют растительноядных животных (консументы первого порядка), мелких и крупных хищников (консументов второго, третьего порядка и др.). Роль консументов-животных в сообществах определяется с их подвижностью и относительно быстрой адаптацией, что спо-

собствует распространению жизни на планете. Кроме того, животные активно регулируют биомассу и рост растений.

Консументы также подразделяют на **сапрофагов** (питающихся мертвыми растительными остатками), **фитофагов** (потребителей живых растений), **зоофагов** (нуждающихся в живой пище) и **некрофагов** (трупоядных животных). Кроме того, организмы, питающиеся мертвыми остатками растений и животных — **детритом,** дополнительно выделяют в группу **детритофагов.**

Редуценты (от лат. *reducere* — возвращать) — организмы, использующие в качестве пищи органическое вещество и подвергающие его минерализации. Поэтому данная категория организмов также называется **деструкторами,** ибо они окончательно разрушают органические вещества до относительно простых неорганических соединений, используемых консументами в качестве пищи. Тем самым осуществляется возврат вещества в начало природной цепи питания.

К редуцентам относятся многие виды бактерий и грибов, разлагающих в процессе метаболизма мертвое органическое вещество (трупы животных, гниющие растения, фекалии) до минеральных составляющих. Именно они (редуценты) завершают биологические циклы вещества в биосфере, возвращая в почву, воду и воздух биогены ($C0_2$, минеральные соли, воду, сероводород, азот и др.), которые вновь могут быть использованы растениями. Таким образом поддерживается непрерывное течение жизни при ограниченном количестве, но многократном использовании биогенных элементов.

2.4. Гомеостаз

Гомеостаз[1] (от греч. *homoios* — тот же, *statos* — состояние) — способность биологических систем противостоять изменениям и сохранять относительное динамическое постоянство своей структуры и свойств. Поддержание гомеостаза — непременное условие существования как отдельных клеток и организмов, так целых биологических сообществ и экосистем.

[1] Термин «гомеостаз» введен в 1932 г. американским физиологом У. Кэнноном для характеристики процессов, обеспечивающих устойчивость и постоянство внутренней среды отдельного организма, и впоследствии распространен на живые системы разных уровней организации.

В гомеостазе (устойчивости) живых систем выделяют:

- *выносливость* (живучесть, толерантность (см. разд. 3.2.2) — способность переносить изменения среды без нарушения основных свойств системы;
- *упругость* (резистентность, сопротивляемость) — способность быстро самостоятельно возвращаться в нормальное состояние из неустойчивого, которое возникло в результате внешнего неблагоприятного воздействия на систему.

Понятие «гомеостаз» широко используется в экологии для характеристики устойчивости различных систем. Гомеостаз клетки определяется специфическими физико-химическими условиями, отличными от условий внешней среды; гомеостаз многоклеточного организма — поддержанием постоянства внутренней среды. Константами гомеостаза животных являются объем, состав крови и других жидкостей организма.

Гомеостаз популяции определяется поддержанием пространственной структуры, плотности и генетического разнообразия. Вследствие гомеостатической регуляции поддерживается постоянство состава и численности популяций в сообществах.

На уровне экосистем гомеостаз проявляется в наиболее устойчивых формах взаимодействия между видами, что выражается в приспособленности к особенностям среды и поддержании циклов круговорота биогенов. Можно рассматривать даже гомеостаз биосферы, в которой взаимодействие разнообразных организмов поддерживает постоянство газового состава атмосферы, состав почв, состава и концентрации солей мирового океана и др.

Гомеостаз обеспечивается работой механизмов регулирования, действующих по принципу отрицательной обратной связи. Тогда нарушения в функционировании живой системы, используя кибернетические термины, следует констатировать как появление в канале обратной связи «помех» или «шумов».

Роль помех могут играть различные факторы, например погодные условия, деятельность человека и т. п. Резкие изменения характеристик окружающей среды, при которых они (или одна из них) выходят за границы допустимого, называют **экологическим стрессом.**

Безусловно, конкретные механизмы регулирования различны для клетки организма, популяции и экосистемы, но

всегда результатом саморегуляции и поддержания гомеостаза является сбалансированность и четкая согласованность функционирования всех элементов биологической системы.

2.5. Биологический вид

Разделение всего многообразия животных и растений на виды является способом упорядоченного описания живой природы, основанным на выявлении иерархической структуры ее элементов.

В большинстве случаев особи разных видов различают по внешнему виду, поведению, физиологии. Однако одних внешних различий, даже значительных, для выделения вида недостаточно. Если особи двух разных групп организмов при самом значительном различии внешнего вида способны, скрещиваясь, давать потомство (т. е. возможен обмен генами), то они являются одним видом. Напротив, особей, которые не способны дать потомство при скрещивании, относят к различным видам.

Вид[1] — совокупность особей, способных к скрещиванию и образованию плодовитого потомства, населяющих определенный ареал (область географического распространения), обладающих рядом общих морфо-физиологических признаков и типов взаимоотношений с абиотической и биотической средой, отделенных от других таких же групп особей практически полным отсутствием гибридных[2] форм. Вид — качественный этап процесса эволюции (см. разд. 3.33).

Приведенное правило определения видов (как и все прочие научные схемы, описывающие безгранично многообразные проявления жизни) имеет исключения.

Контрольные вопросы и задания

2.1. Что такое гомеостаз?

2.2. Приведите примеры выносливости и упругости организмов.

2.3. Какие изменения происходят с веществом и энергией в ходе фотосинтеза и роста растений?

[1] Определение понятия «вид» через понятие «популяция» с необходимыми пояснениями см. в гл. 4.

[2] Гибрид — потомство, не способное к дальнейшему размножению например, мул — результат скрещивания лошади с ослом).

2.4. Назовите сходства и различия процессов фотосинтеза и хемосинтеза.
2.5. Перечислите основные типы дыхания.
2.6. Назовите единый и универсальный источник энергообеспечения клетки.
2.7. Какие организмы являются продуцентами и какова их роль в экосистеме?
2.8. Объясните взаимоотношения между организмами-производителями, организмами-потребителями и организмами-разрушителями.
2.9. Какая роль отводится воде в жизни клетки?
2.10. Дайте определение биологическому виду. Имеют ли место исключения из данного правила определения вида?

ГЛАВА 3

ФАКТОРЫ СРЕДЫ

Живое неотрывно от среды. Каждый отдельный организм, являясь самостоятельной биологической системой, постоянно находится в прямых или косвенных отношениях с разнообразными компонентами и явлениями окружающей его среды или, иначе, среды обитания, влияющими на состояние и свойства организма.

Среда — одно из основных экологических понятий, которое означает весь спектр окружающих организм элементов и условий в той части пространства, где обитает организм, все то, среди чего он живет и с чем непосредственно взаимодействует. При этом организмы, приспособившись к определенному комплексу конкретных условий, в процессе жизнедеятельности сами постепенно изменяют эти условия, т. е. среду своего существования.

Составные части и свойства среды многообразны и изменчивы. В земных условиях существуют четыре основных типа среды обитания живых организмов: водная, наземная (воздушная), почвенная, а также тело другого организма, используемое паразитами.

3.1. Экологические факторы и их действие

Экологический **фактор**[1] — любой элемент окружающей среды, способный прямо или косвенно влиять на живой организм, хотя бы на одном из этапов его индивидуального развития, называют экологическим фактором.

[1] Фактор (от лат. *factor* — делающий, производящий) — движущая сила, причина какого-либо процесса, явления.

Экологические факторы многообразны, при этом каждый фактор является совокупностью соответствующего условия среды и его ресурса (запаса в среде).

Экологические факторы среды (рис. 3.1) принято делить на две группы:

- факторы косной (неживой) природы — *абиотические* или *абиогенные;*
- факторы живой природы — *биотические шли биогенные.*

С другой стороны, по происхождению и те и другие бывают как природными, так и антропогенными, т. е. прямо или косвенно связанными с деятельностью человека, который не только меняет режимы природных экологических факторов,

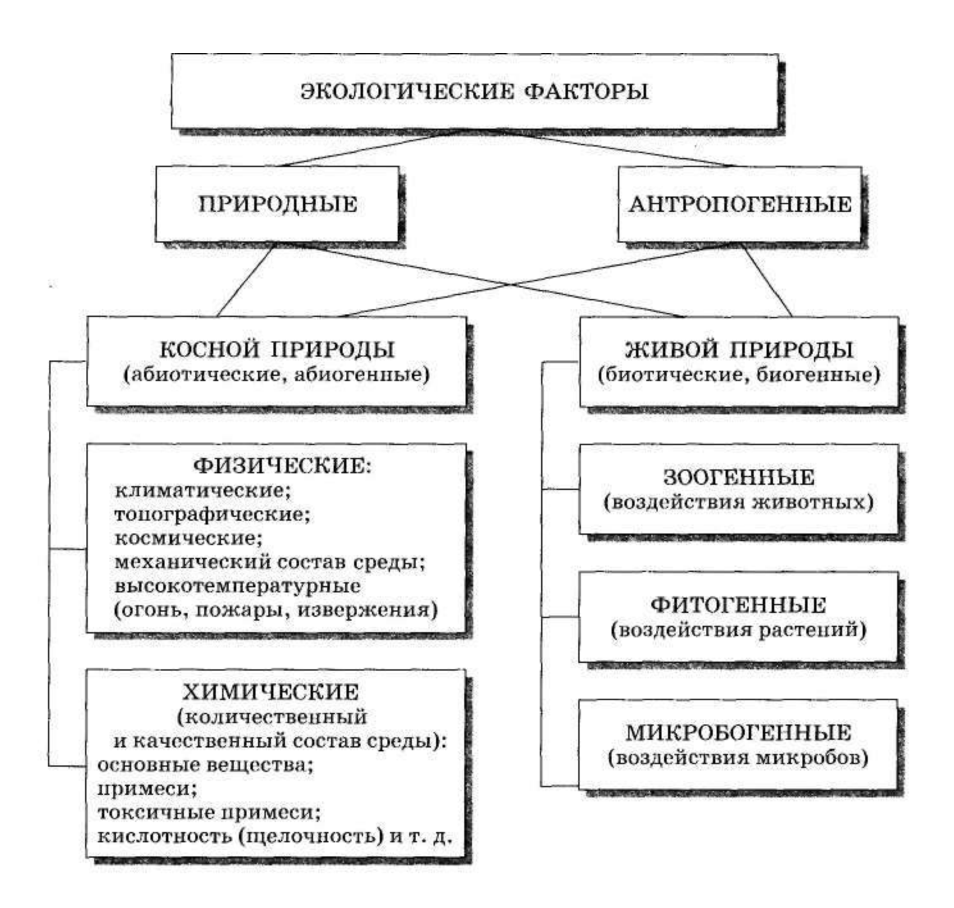


Рис. 3.1. Классификация экологических факторов

но и создает новые, синтезируя ядохимикаты, удобрения, строительные материалы, лекарства и т. п.

Известно, что в основу построения системы терминов должна быть положена достаточно емкая классификация, охватывающая все понятия в их взаимосвязи и развитии. Исключительная сложность, взаимосвязанность и взаимозависимость явлений в природе затрудняет классификацию в экологии. Наряду с приведенной классификацией экологических факторов существует много других (менее распространенных), в которых используют иные отличительные признаки. Так, выделяют факторы, зависящие и не зависящие от численности и плотности организмов. Например, на действие макроклиматических факторов не сказывается количество животных или растений, а эпидемии (массовые заболевания), вызываемые патогенными микроорганизмами, зависят от их количества на данной территории. Известны классификации, в которых все антропогенные факторы относят к биотическим.

3.1.1. Абиотические факторы

В абиотической части среды обитания (в неживой природе) все факторы прежде всего можно разделить на физические и химические. Однако для понимания сути рассматриваемых явлений и процессов абиотические факторы удобно представить совокупностью климатических, топографических, космических факторов, а также характеристик состава среды (водной, наземной или почвенной) и др.

3.1.1.1. Основные климатические факторы

Энергия Солнца. Она распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн. Для организмов важны длина волны воспринимаемого излучения, его интенсивность и продолжительность воздействия.

Около 99% всей энергии солнечной радиации составляют лучи с длиной волны *X* = **170** ... **4000** нм, в том числе 48% приходится на видимую часть спектра (A = **390** ... **760** нм), 45% — на близкую инфракрасную *(X* = **760** ... **4000** нм) и около 7% — на ультрафиолетовую *(X* < **400** нм).

Преимущественное значение для фотосинтеза имеют лучи с *X* = 380 ... 710 нм. Длинноволновая (дальняя инфракрасная) солнечная радиация *(X* > **4000** нм) незначительно влияет на процессы жизнедеятельности организмов.

Ультрафиолетовые лучи с $X > 320$ нм в малых дозах необходимы животным и человеку, так как под их действием в организме образуется витамин D. Излучение с $X < 290$ нм губительно для живого, но до поверхности Земли оно не доходит, поглощаясь озоновым слоем атмосферы.

При прохождении через атмосферный воздух солнечный свет (рис. 3.2) отражается, рассеивается и поглощается. Чистый снег отражает примерно 80—95% солнечного света, загрязненный — 40—50%, черноземная почва — до 5%, сухая светлая почва — 35—45%, хвойные леса — 10—15%. Однако освещенность земной поверхности существенно колеблется в зависимости от времени года и суток, географической широты, экспозиции склона, состояния атмосферы и т. п.

Вследствие вращения Земли периодически чередуются светлое и темное время суток. Цветение, прорастание семян у растений, миграция, зимняя спячка, размножение животных и многое другое в природе связаны с длительностью фотопериода (длиной дня). Необходимость в свете для растений обусловливает быстрый их рост в высоту, ярусную структуру леса. Водные растения распространяются преимущественно в поверхностных слоях водоемов.



Рис. 3.2. Баланс солнечной радиации на поверхности Земли в дневное время

Температура. Температура главным образом связана с солнечным излучением, но в ряде случаев определяется энергией геотермальных источников.

При температуре ниже точки замерзания живая клетка физически повреждается образующимися кристаллами льда и гибнет, а при высоких температурах происходит денатурация[1] ферментов. Абсолютное большинство растений и животных не выдерживает отрицательных температур тела. Верхний температурный предел жизни редко поднимается выше 40—45 °С.

В диапазоне между крайними границами скорость ферментативных реакций (следовательно, и интенсивность обмена веществ) удваивается с повышением температуры на каждые 10 °С. Значительная часть организмов способна контролировать (поддерживать) температуру тела, причем в первую очередь наиболее жизненно важных органов. Такие организмы называют *гомойотермными* — теплокровными (от греч. *homoios* — подобный, *therme* — теплота), в отличие от *пойкилотермных* — холоднокровных (от греч. *poikilos* — различный, переменчивый, разнообразный), имеющих непостоянную температуру, зависящую от температуры окружающей среды.

В водной среде благодаря высокой теплоемкости воды изменения температуры менее резкие и условия более стабильные, чем на суше. Известно, что в регионах, где температура в течение суток, а также в разные сезоны сильно меняется, разнообразие видов меньше, чем в регионах с более постоянными суточными и годовыми температурами.

Температура, как и интенсивность света, зависит от географической широты, сезона, времени суток и экспозиции склона. Действие экстремальных температур (низких и высоких) усиливается сильными ветрами.

Изменение температуры по мере подъема в воздушной среде или погружения в водную среду называют **температурной стратификацией.** Обычно и в том и в другом случае наблюдается непрерывное снижение температуры с определенным градиентом. Тем не менее существуют и иные варианты. Так, в летний период поверхностные воды нагреваются сильнее глубинных. В связи со значительным уменьшением плотности воды по мере нагрева начинается ее циркуляция в поверхностном нагретом слое без смешения с более плотной, холодной водой

Денатурация (лишение природных свойств) — изменение естественных свойств белков при изменениях физических и химических условий среды.

нижерасположенных слоев. В результате между теплым и холодным слоями образуется промежуточная зона с резким градиентом температуры. Все это влияет на размещение в воде живых организмов, а также на перенос и рассеивание поступающих примесей.

Подобное явление встречается и в атмосфере, когда охлажденные слои воздуха смещаются вниз и располагаются под теплыми слоями, т. е. имеет место **температурная инверсия**[1], способствующая накоплению загрязняющих веществ в приземном слое воздуха.

Инверсии способствуют некоторые особенности рельефа, например, котлованы и долины. Она возникает при наличии на определенной высоте веществ, например аэрозолей, нагреваемых непосредственно за счет прямого солнечного излучения, что вызывает более интенсивное прогревание верхних воздушных слоев.

В почвенной среде суточная и сезонная стабильность (колебания) температуры зависят от глубины (рис. 3.3). Значительный градиент температур (а также влажности) позволяет обитателям почвы обеспечивать себе благоприятную среду путем незначительных перемещений.

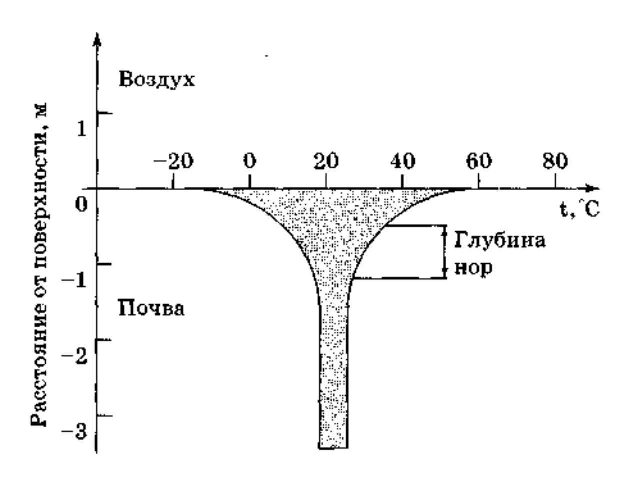


Рис. 3.3. Уменьшение годового колебания температуры почвы с глубиной

[1] Инверсия (от лат. *inversio* — перестановка). Инверсия температуры — повышение температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы вместо обычного понижения.

Наличие и численность живых организмов могут влиять на температуру. Например, под пологом леса или под листьями отдельного растения имеет место иная температура.

Осадки, влажность. Вода обязательна для жизни на Земле, в экологическом плане она уникальна (см. разд. 2.1, 2.2). При практически одинаковых географических условиях на Земле существуют и жаркая пустыня, и тропический лес (рис. 3.4). Различие состоит только в годовом количестве осадков: в первом случае 0,2—200 мм, а во втором **900**—2000 мм.

Осадки, тесно связанные с влажностью воздуха, представляют собой результат конденсации и кристаллизации водяных паров в высоких слоях атмосферы. В приземном слое воздуха образуются росы, туманы, а при низких температурах наблюдается кристаллизация влаги — выпадает иней.

Одна из основных физиологических функций любого организма — поддержание на достаточном уровне количества воды в теле. В процессе эволюции у организмов сформировались разнообразные приспособления к добыванию и экономному расходованию воды, а также к переживанию засушливого периода. Одни животные пустыни получают воду из пищи, другие за счет окисления своевременно запасенных жиров (например, верблюд, способный путем биологического окисления из **100** г жира получить 107 г метаболической воды); при этом у них минимальна водопроницаемость наружных покровов тела, преимущественно ночной образ жизни и т. д. При периоди-



Рис. 3.4. Зависимость типа растительности от климатических условий

ческой засушливости характерно впадание в состояние покоя с минимальной интенсивностью обмена веществ.

Наземные растения получают воду главным образом из почвы. Малое количество осадков, быстрый дренаж, интенсивное испарение либо сочетания этих факторов ведут к иссушению, а избыток влаги — к переувлажнению и заболачиванию почв.

Баланс влаги зависит от разницы между количеством выпавших осадков и количеством воды, испарившейся с поверхностей растений и почвы, а также путем **транспирации**[1]. В свою очередь процессы испарения непосредственно зависят от относительной влажности атмосферного воздуха. При влажности, близкой к **100%**, испарение практически прекращается, и если дополнительно понижается температура, то начинается обратный процесс — конденсация (образуется туман, выпадают роса, иней).

Помимо отмеченного, влажность воздуха как экологический фактор при своих крайних значениях (повышенной и пониженной влажности), усиливает воздействие (усугубляет) действие температуры на организм.

Насыщение воздуха парами воды редко достигает максимального значения. Дефицит влажности — разность между максимально возможным и фактически существующим насыщением при данной температуре. Это один из важнейших экологических параметров, поскольку характеризует сразу две величины: температуру и влажность. Чем выше дефицит влажности, тем суше и теплее, и наоборот.

Режим осадков — важнейший фактор, определяющий миграцию загрязняющих веществ в природной среде и вымывание их из атмосферы.

Подвижность среды. Причинами возникновения движения воздушных масс (ветра) являются в первую очередь неодинаковый нагрев земной поверхности, вызывающий перепады давления, а также вращение Земли. Ветер направлен в сторону более прогретого воздуха.

Ветер — важнейший фактор распространения на большие расстояния влаги, семян, спор, химических примесей и т. п. Он способствует как снижению околоземной концентрации пыле- и газообразных веществ вблизи места их поступления в атмосферу, так и повышению фоновых концентраций в воздушной среде вследствие выбросов далеких источников, включая трансграничный перенос.

[1] Транспирация — испарение воды наземными частями растений.

Ветер ускоряет транспирацию (испарение влаги наземными частями растений), что особенно ухудшает условия существования при низкой влажности. Кроме того, он косвенно влияет на все живые организмы суши, участвуя в процессах выветривания и эрозии.

Подвижность в пространстве и перемешивание водных масс способствуют поддержанию относительной гомогенности (однородности) физических и химических характеристик водных объектов. Средняя скорость поверхностных течений лежит в пределах 0,1—0,2 м/с, достигая местами 1 м/с, у Гольфстрима — 3 м/с.

Давление. Нормальным атмосферным давлением считается абсолютное давление на уровне поверхности Мирового океана 101,3 кПа, соответствующее 760 мм рт. ст. или 1 атм. В пределах земного шара существуют постоянные области высокого и низкого атмосферного давления, причем в одних и тех же точках наблюдаются сезонные и суточные его колебания. По мере увеличения высоты относительно уровня океана давление уменьшается, снижается парциальное давление кислорода, усиливается транспирация у растений.

Периодически в атмосфере образуются области пониженного давления с мощными воздушными потоками, перемещающимися по спирали к центру, которые называют *циклонами*. Для них характерно большое количество осадков и неустойчивая погода. Противоположные природные явления называют *антициклонами*. Они характеризуются устойчивой погодой, слабыми ветрами и в ряде случаев температурной инверсией. При антициклонах порой возникают неблагоприятные метеорологические условия, способствующие накоплению в приземном слое атмосферы загрязняющих веществ.

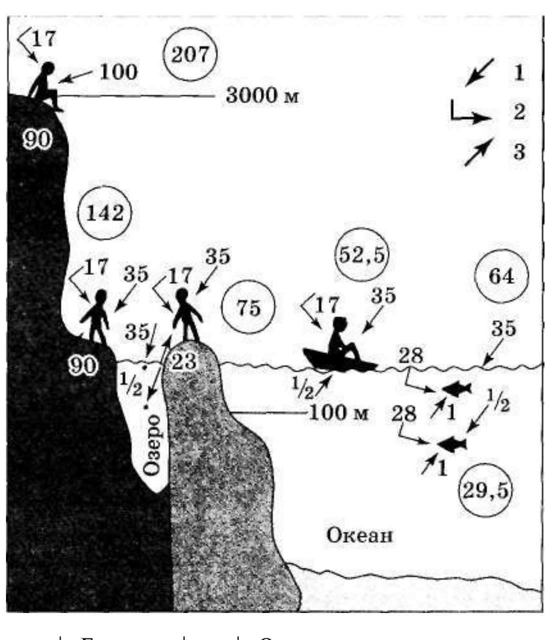
Различают также морское и континентальное атмосферное давление.

Давление в водной среде возрастает по мере погружения. Благодаря значительно (в 800 раз) большей, чем у воздуха, плотности воды на каждые **10** м глубины в пресноводном водоеме давление увеличивается на 0,1 МПа (1 атм). Абсолютное давление на дне Марианской впадины превышает **110** МПа **(1100** атм).

Ионизирующие излучения. **Ионизирующим** называют излучение, образующее пары ионов при прохождении через вещество; **фоновым** — излучение, создаваемое природными источниками. Оно имеет два основных источника: космическое излучение и радиоактивные изотопы и элементы в минералах земной коры, возникшие некогда в процессе образования вещества Земли. Из-за большого периода полураспада ядра

многих первозданных радиоактивных элементов сохранились в недрах Земли до настоящего времени. Главнейшие из них — калий-40, торий-232, уран-235 и уран-238. Под воздействием космического излучения в атмосфере постоянно образуются все новые ядра радиоактивных атомов, главные из которых — углерод-14 и тритий.

Радиационный фон ландшафта — одна из непременных составляющих его климата. В формировании фона принимают участие все известные источники ионизирующего излучения (рис. 3.5), однако вклад каждого из них в общую дозу облучения зависит от конкретной географической точки. Человек как обитатель природной среды получает основную часть облучения от естественных источников радиации, и избежать этого невозможно. Все живое на Земле подвергается излучению из Космоса на протяжении всей истории существования и адаптировалось к этому.



| Гранит |____| Осадочные породы

[| Донные осадки

Рис. 3.5. Дозы получаемого радиоактивного облучения, мрад/г. (по *Н. Ф. Реймерсу): 1* — космические лучи; *2* — внутренние а-лучи и излучение ^{40}K, содержащегося в живых организмах; *3* — излучение местных внешних источников

Горные ландшафты благодаря значительной высоте над уровнем моря характеризуются повышенным вкладом космического излучения. Ледники, выполняя функцию поглощающего экрана, задерживают в своей массе излучение подстилающих коренных пород. Обнаружены различия в содержании радиоактивных аэрозолей над морем и сушей. Суммарная радиоактивность морского воздуха в сотни и тысячи раз меньше, чем континентального.

На Земле есть районы, где мощность экспозиционной дозы в десятки раз превышает средние значения, например, районы месторождений урана и тория. Такие места называют урановыми и ториевыми провинциями. Стабильный и относительно более высокий уровень излучения наблюдается в местах выхода гранитных пород.

Биологические процессы, сопровождающие образование почв, существенно влияют на накопление в последних радиоактивных веществ. При малом содержании гумусовых веществ их активность слабая, тогда как черноземы всегда отличались более высокой удельной активностью. Особенно она высока у черноземных и луговых почв, расположенных близко к гранитным массивам. По степени возрастания удельной активности почвы ориентировочно можно расположить в следующем порядке: торфяные; черноземные; почвы степной зоны и лесостепи; почвы, развивающиеся на гранитах.

Влияние периодических колебаний интенсивности космического излучения у земной поверхности на дозу облучения живых организмов практически не существенно.

Во многих районах земного шара мощность экспозиционной дозы, обусловленная излучением урана и тория, достигает уровня облучения, существовавшего на Земле в геологически обозримое время, при котором шла естественная эволюция живых организмов. В целом ионизирующее излучение более губительно воздействует на высокоразвитые и сложные организмы, причем человек отличается особой чувствительностью. Некоторые вещества распределяются в организме равномерно, например углерод-14 или тритий, а другие накапливаются в определенных органах. Так, радий-224, -226, свинец-210, полоний-210 аккумулируются в костных тканях. Сильное воздействие на легкие оказывает инертный газ радон-220, порой выделяющийся не только из залежей в литосфере, но и из минералов, добытых человеком и применяемых в качестве строительных материалов.

Радиоактивные вещества могут накапливаться в воде, почве, осадках или в воздухе, если скорость их поступления превышает скорость радиоактивного распада. В живых организмах накопление радиоактивных веществ происходит при их попадании с пищей («правило биотического усиления», см. разд. 5.1.3).

3.1.1.2. Топографические факторы

Влияние абиотических факторов в значительной мере зависит от **топографических**[1] **характеристик** местности, которые могут сильно изменять как климат, так и особенности развития почв (см. разд. 7.2.4.6). Основной топографический фактор — *высота* над уровнем моря. С высотой снижаются средние температуры, увеличивается суточный перепад температур, возрастает количество осадков, скорость ветра и интенсивность радиации, понижается давление. В результате в горной местности по мере подъема наблюдается вертикальная зональность распределения растительности, соответствующая последовательности смены широтных зон от экватора к полюсам (рис. 3.6).

Горные цепи могут служить климатическими барьерами. Поднимаясь над горами, воздух охлаждается, что часто вызывает осадки и тем самым снижает его абсолютное влагосодержание. Попадая затем на другую сторону горной гряды, осушенный воздух способствует снижению интенсивности дождей (снегопада), чем создается «дождевая тень».

Горы могут играть роль изолирующего фактора в процессах видообразования, так как служат барьером для миграции организмов.

Важный топографический фактор — *экспозиция (освещенность) склона.* В Северном полушарии теплее на южных склонах, а в Южном полушарии — на северных склонах.

Другой важный фактор — *крутизна склона,* влияющая на дренаж. Вода стекает со склонов, смывая почву, уменьшая ее слой. Кроме того, под действием силы тяжести почва медленно сползает вниз, что ведет к ее скоплению у основания склонов. Наличие растительности сдерживает эти процессы, однако при уклонах более 35° почва и растительность обычно отсутствуют и создаются осыпи из рыхлого материала.

[1] Топография (от греч. *topos* — место, местность и *grapho* — пишу) — поверхность какой-либо местности, взаимное расположение ее пунктов, частей. Топографические факторы иногда называют *геоморфологическими.*

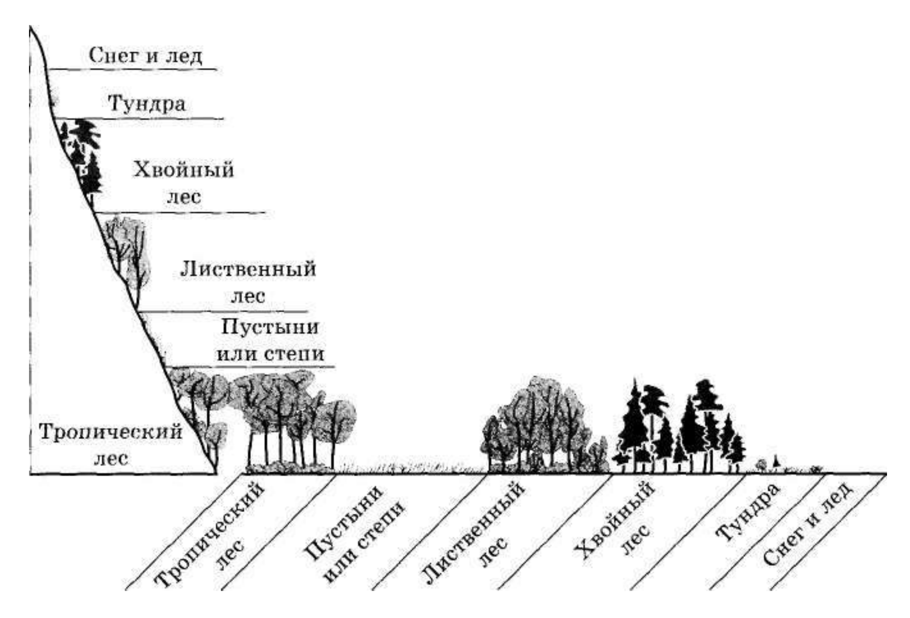


Рис. 3.6. Вертикальная и широтная зональности растительности

Рельеф местности — один из главных факторов, влияющих на перенос, рассеивание или накопление примесей в атмосферном воздухе.

3.1.1.3. Состав среды

Состав водной среды. Большая часть поверхности Земли (около 366 из 510 млн км^2, или 72%) покрыто водой. Распространение и жизнедеятельность организмов в водной среде в значительной степени зависят от ее химического состава. Недостатка в воде как в химическом веществе в водных средах нет, за исключением случаев пересыхания водоемов. Тем не менее проблемы, связанные с водой, возникают даже у водных организмов.

Прежде всего водные организмы подразделяют на пресноводные и морские в зависимости от солености воды, в которой они обитают. Соленость океанской воды меняется как по глубине, так и по акватории. В Северном Ледовитом океане она ниже 31‰[1], а в Красном море выше 42‰. Содержание солей

[1] ‰ — промилле — безразмерная единица измерения от лат. *pro mille* — на тысячу. Для сравнения термин «процент» — от лат. *pro cent* — на сто.

в воде Мертвого моря достигает 26—27%, тогда как концентрация солей в пресных водоемах около 0,05% .

Морская вода является сложным солевым раствором со средней соленостью 35,2 г в 1 кг воды, т. е. 3,52% по массе, или 35,2%о.

Соли и другие растворенные в воде вещества находятся преимущественно в виде ионов. Состав солей разнообразен, в океанической воде встречаются практически все химические элементы и их изотопы, но основную массу составляют девять основных ионов (табл. 3.1), соотношение между которыми постоянно и не зависит от уровня солености, места и глубины, поэтому ее можно определить по одному главному иону. Это соотношение существует давно, не менее 1 млрд лет, и акад. В. И. Вернадский предложил принять его в качестве константы для нашей планеты. Главный компонент солей морской воды — хлорид натрия, в пресных водах преобладают карбонаты.

Таблица 3. 1

Содержание ионов в морской воде

Ион	Концентрация		Ион	Концентрация	
	мг в 1 кг воды	% от массы растворенных веществ		мг в 1 кг воды	% от массы растворенных веществ
	18 980	55,04	КГ	380	1,10
Na^+	10 560	30,61	НСОд, СОГ	140	0,41
	2650	7,68		65	0,19
Mg^{2+}	1270	3,69	H_2BO-	5	0,07
Ca^{2+}	400	1,16	ИТОГО	34 450	99,95

Повышение солености воды в среде обитания ведет к потере воды организмом (путем **осмоса**[1]).

Редкие организмы допускают большие колебания солености. Обычно они обитают в эстуариях (место впадения пресно-

[1] Осмос (от греч. *osmos* — давление) — односторонняя диффузия растворителя через полупроницаемую перегородку (мембрану), отделяющую раствор от чистого растворителя или раствора меньшей концентрации.

водной реки в соленое море или длинный и узкий залив океана) или в маршах (низменная лугово-болотная полоса вдоль морского побережья и у устья рек, заливаемая морской водой лишь при очень высоких приливах).

По составу растворенных минеральных веществ даже пресные воды могут существенно отличаться в различных природных водоемах и прежде всего в подземных и поверхностных водах. Соленость воды влияет и на наземные растения. При чрезмерно интенсивном испарении воды либо ограниченности осадков почва может засоляться. Такая проблема существует при искусственном орошении.

Любые воды в природных водоемах, помимо растворенных веществ, содержат некоторое количество взвешенных частиц, наличие которых характеризует мутность воды, ее обратную характеристику — прозрачность, а также световой режим в глубине водоема.

Один из основных комплексных показателей химического состава водной среды — кислотность (pH). Одни организмы эволюционно приспособлены к жизни в кислой среде ($pH < 7$), другие — в щелочной ($pH > 7$), третьи — в нейтральной ($pH - 7$).

В составе природной водной среды всегда присутствуют растворенные газы, из которых первоочередное значение имеют кислород и диоксид углерода, участвующие в фотосинтезе и дыхании водных организмов (табл. 3.2). В целом масса растворенных газов почти в 30 раз меньше массы газов в атмосфере.

Колебание содержания $C0_2$ в водах Мирового океана в предшествующие эпохи в сравнении с колебаниями концентрации углекислого газа в атмосфере показано на рис. 3.7.

Таблица 3.2

Содержание основных газов в воздухе и в воде Мирового океана

Газ	Содержание, млрд т	
	в Мировом океане	в атмосфере Земли
Диоксид углерода $C0_2$	**140** 000	**2** 300
Кислород O_2	**14** 000	**1** 180 000
Азот N_2	**1,8**	**3** 860 000

Среди прочих растворенных в океане газов наиболее заметны сероводород, аргон и метан. На отдельных участках дна сероводород образует значительные скопления. Черное море, начиная с глубины 150—200 м, является сероводородным до самого дна. Сероводородные донные участки, возможно, остались от первичного океана и населены, как и в давние времена, организмами, обходящимися без свободного кислорода (см. разд. 2.2.1.3).

Состав газов, растворенных в водах океана, близок к составу первичной атмосферы нашей планеты, в которой было заметно больше диоксида углерода и меньше кислорода.

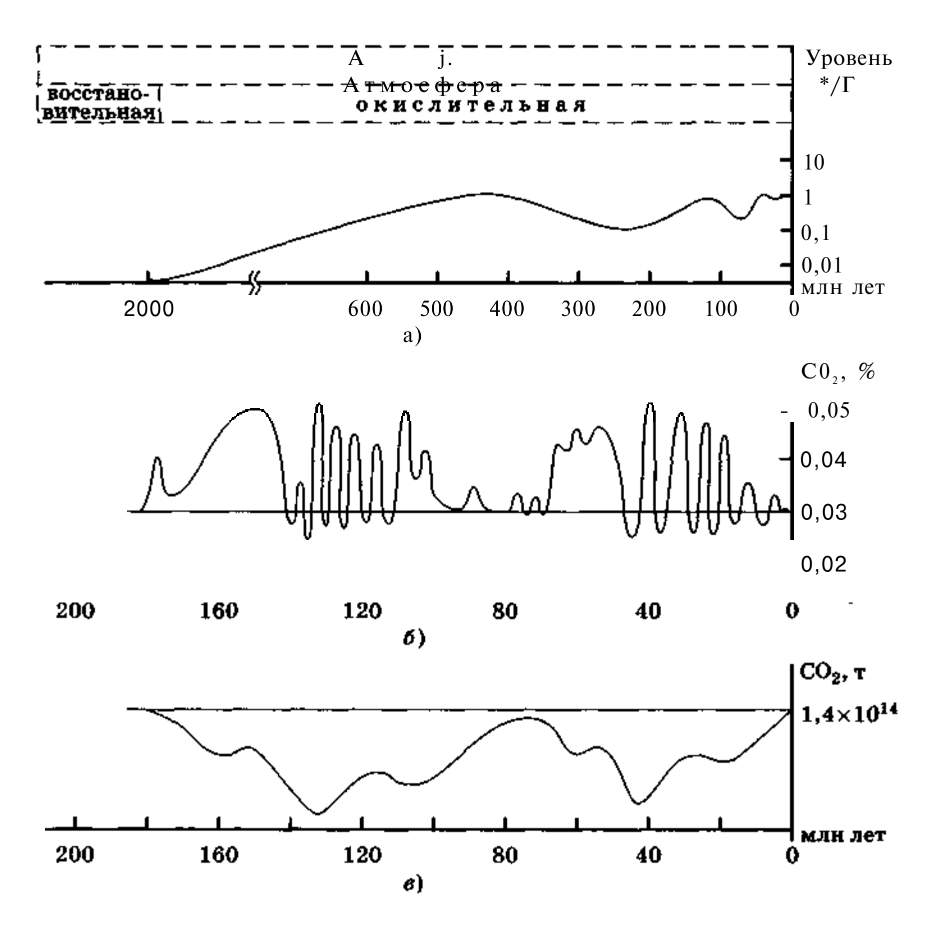


Рис. 3.7. Изменение содержания в атмосфере кислорода (а), диоксида углерода *(б),* а также диоксида углерода в водах Мирового океана (в) в предшествующие эпохи

Состав воздуха. Один из главных абиотических факторов наземной (воздушной) среды обитания — состав воздуха, естественной смеси газов, сложившейся в ходе эволюции Земли. Состав воздуха в современной атмосфере находится в состоянии динамического равновесия, зависящего от жизнедеятельности живых организмов и геохимических явлений глобального масштаба.

Воздух, лишенный влаги и взвешенных частиц, имеет на высоте уровня моря практически одинаковый состав во всех местностях земного шара, а также на протяжении суток и в разные периоды года. Однако в различные эпохи существования планеты состав воздуха был различен. Считается, что наиболее сильно изменялось содержание диоксида углерода и кислорода (рис. 3.7). Роль кислорода и диоксида углерода подробно показана в разд. 2.2.

Азот, присутствующий в атмосферном воздухе в наибольшем количестве, в газообразном состоянии для абсолютного большинства организмов, особенно для животных, является нейтральным. Только для ряда микроорганизмов (клубеньковых бактерий, азотобактеров, синезеленых водорослей и др.) азот воздуха служит фактором жизнедеятельности. Эти микроорганизмы усваивают молекулярный азот, а после отмирания и минерализации снабжают высшие растения доступными формами этого химического элемента.

Присутствие в воздухе иных газообразных веществ или аэрозолей (твердых или жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии) в каких-либо заметных количествах изменяет привычные условия среды обитания, влияет на живые организмы.

Состав почв. Почва — слой веществ, лежащих на поверхности земной коры. Она представляет собой продукт физического, химического и биологического преобразования горных пород (рис. 3.8) и является трехфазной средой, включающей твердые, жидкие и газообразные компоненты, находящиеся в следующих соотношениях (в %):

минеральная основа	обычно 50—60% от общего состава
органическое вещество	до 10
вода	25—35
воздух	15—25

В данном случае почва рассматривается среди прочих абиотических факторов, хотя на самом деле она является важней-

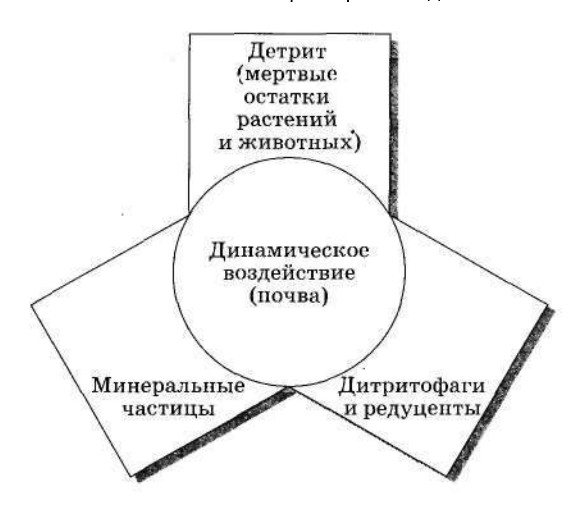


Рис. 3.8. Схема преобразования минерального вещества в почву

шим звеном, связывающим абиотические и биотические факторы среды обитания.

Минеральный неорганический состав почвы. Горная порода под действием химических и физических факторов природной среды постепенно разрушается. Образующиеся части различны по размеру — от валунов и камней до крупных песчинок и мельчайших частиц глины. Механические и химические свойства почвы в основном зависят от мелкого грунта (частицы менее 2 мм), который принято подразделять в зависимости от размера 5 (в мкм) на следующие системы:

песок .... 5 = 60—2000
алеврит (иногда называемый «пылью») .... 8 = 2—60
глину .... 5 менее 2

Структура почвы определяется относительным содержанием в ней песка, алеврита, глины и обычно иллюстрируется диаграммой — «треугольником почвенной структуры» (рис. 3.9).

Значение почвенной структуры становится понятным при сравнении свойств чистого песка и глины. «Идеальной» почвой считается состав, содержащий равные количества глины и песка в сочетании с частицами промежуточных размеров. В таком случае образуется пористая, крупчатая структура. Соответствующие почвы называют *суглинками.* Они имеют достоинства двух крайних типов почв без их недостатков. Большая часть минеральных компонентов представлена в почве кристаллическими структурами. Песок и алеврит состоят в основ-

ном из инертного минерала — кварца (SiO_2), называемого *кремнеземом*.

Глинистые минералы в большинстве встречаются в виде мельчайших плоских кристаллов, часто шестигранной формы, состоящих из слоев гидроокиси алюминия или глинозема (Al_2O_3) и слоев силикатов (соединений силикат-ионов SiO|~ с катионами, например, алюминия Al^{3+} или железа Fe^{3+}, Fe^{2+}). Удельная поверхность кристаллов очень велика и составляет 5—800 $м^2$ на 1 г глины, что способствует удержанию воды и питательных веществ в почве.

В целом считается, что свыше 50% минерального состава почвы составляет кремнезем (SiO_2), 1—25% — глинозем (Al_2O_3), 1—10% —оксиды железа (Fe_2O_4), 0,1—5% —оксиды магния, калия, фосфора, кальция (MgO, K_2O, P_2O_3, CaO).

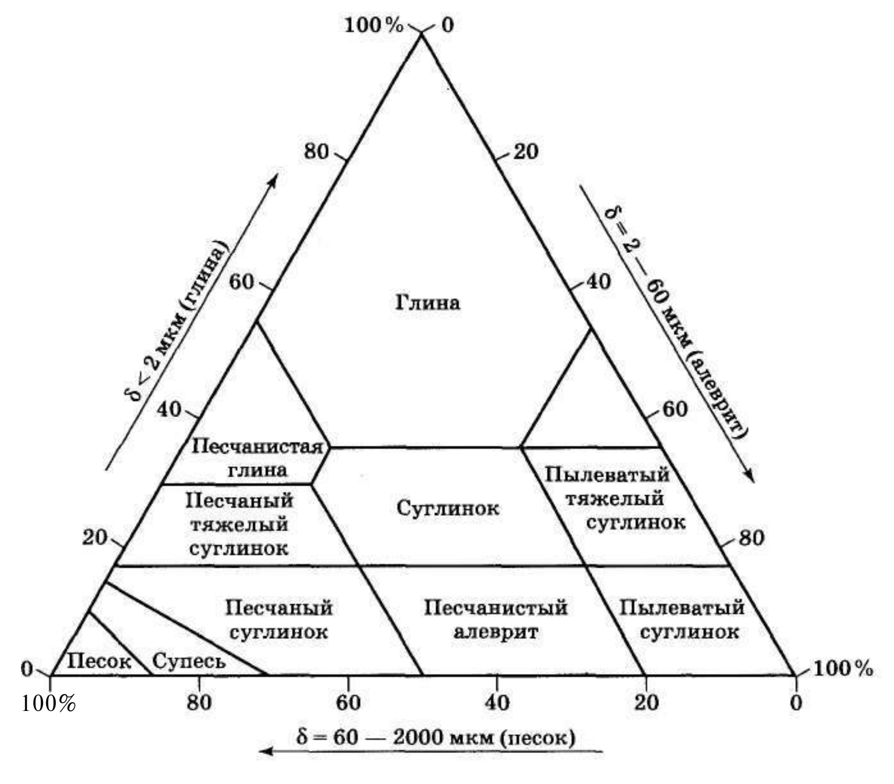


Рис. 3.9. Треугольная диаграмма классов механического состава почв: 8 — размер частиц

В сельском хозяйстве почвы делят на тяжелые (глины) и легкие (пески), чем отражают величину усилий, необходимых для обработки почвы сельскохозяйственными орудиями. Ряд дополнительных характеристик минерального состава почвы будет изложен в разд. 7.2.4.

Содержание воды в почве. Вода необходима всем почвенным организмам, она поглощается корнями растений и принимает участие в процессах разрушения материнской породы, подстилающей почву. Благодаря воде происходит миграция и дифференциация химических элементов в почве. Более правильно жидкую часть почвы рассматривать как почвенный раствор.

Общее количество воды, которое может быть удержано почвой, складывается из гравитационной, физически связанной, капиллярной, химически связанной и парообразной воды (рис. 3.10).

Гравитационная вода может свободно просачиваться вниз через почву, достигая уровня грунтовых вод, что ведет к вымыванию различных питательных веществ.

Физически связанная (гигроскопическая) вода адсорбируется на частицах почвы в виде тонкой прочно связанной пленки. Ее количество зависит от содержания твердых частиц. В глинистых почвах такой воды значительно больше (около 15% веса почвы), чем в песчаных (около 0,5%). Гигроскопическая вода наименее доступна растениям.

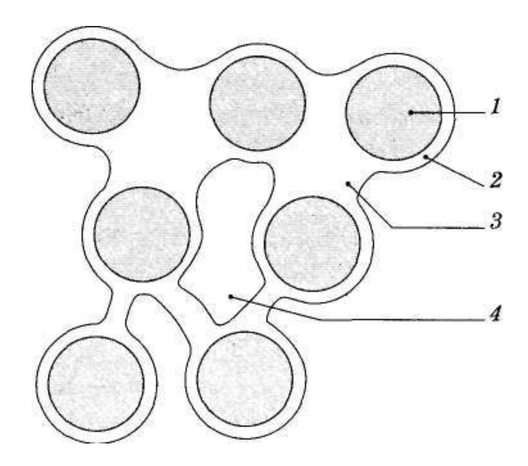


Рис. 3.10. Типы почвенной воды, доступной корням растений (по *Н. Грину, У. Стауту, Д. Тейлору): 1* — частицы почвы; *2* — гигроскопическая вода; *3* — капиллярная вода; *4* — воздух или гравитационная вода

Капиллярная вода удерживается вокруг почвенных частиц за счет сил поверхностного натяжения. При наличии узких пор или канальцев капиллярная вода может подниматься от уровня грунтовых вод вверх, играя центральную роль в регулярном снабжении растений влагой. Глины удерживают больше капиллярной воды, чем пески.

Химически связанная вода и парообразная практически недоступны корневой системе растений.

Содержание воздуха в почве. Поры почвы, не занятые водой, заполняет почвенный воздух. Насыщенность воздухом (аэрация) играет важную роль в почвенных процессах. С увеличением размера частиц грунта объем пор возрастает.

По сравнению с составом атмосферного воздуха из-за дыхания организмов с глубиной уменьшается содержание кислорода (до 10%) и увеличивается концентрация диоксида углерода (достигая 19%). В течение года и суток состав почвенного воздуха сильно меняется. Тем не менее почвенный воздух постоянно обновляется и пополняется за счет атмосферного.

Заболачивание почвы обусловливает вытеснение воздуха водой, и условия становятся анаэробными. Так как микроорганизмы и корни растений продолжают выделять $C0_2$, образующий с водой H_2C0_3, то замедляется обновление гумуса и накапливаются гуминовые кислоты. Все это повышает кислотность почвы, которая, наряду с истощением запасов кислорода, неблагоприятно отражается на почвенных микроорганизмах. Длительные анаэробные условия ведут к отмиранию растений.

Характерный для заболоченных почв серый оттенок придает восстановленная форма железа (Fe^{2+}), окисленная форма (Fe^{3+}) окрашивает почву в желтый, красный и коричневый цвета.

3.1.1.4. Космические факторы

Наша планета не изолирована от процессов, протекающих в космическом пространстве. Земля периодически сталкивается с астероидами, сближается с кометами, на нее попадают космическая пыль, метеоритные вещества, разнообразны виды излучений Солнца и звезд. Циклически (один из циклов имеет период 11,4 г.) солнечная активность меняется.

Наукой накоплено множество фактов, подтверждающих влияние Космоса на жизнь Земли.

3.1.1.5. Огонь (пожары)

К числу важных природных абиотических факторов относят пожары, которые при определенном сочетании климатических условий приводят к полному или частичному выгоранию наземной растительности.

Основной причиной возгораний в естественных условиях являются молнии. По мере развития цивилизации увеличивалось число пожаров, связанных с деятельностью человека: выжигание участков леса для земледелия, небрежное обращение с огнем, аварии и др.

В местностях с явно выраженным сухим климатическим сезоном растительность в процессе эволюции приспособилась к воздействию огня (пожаров), сформировалась специфическая флора, отличающаяся твердой и прочной кожурой семян, быстрым ростом и ранним плодоношением, огнестойкостью коры и т. п.

Косвенное экологически значимое воздействие огня проявляется прежде всего в устранении конкуренции для видов, переживших пожар. Кроме того, после сгорания растительного покрова резко изменяются такие условия среды, как освещенность, разница между дневной и ночной температурами, влажность. Также облегчаются ветровая и дождевая эрозия почвы, ускоряется минерализация гумуса.

Считают, что огонь ежегодно уничтожает растительность на площади около 20 млн га. При этом в атмосферу поступает значительное количество продуктов пиролиза растительной .массы и ее обитателей, что существенно сказывается на загазованности среды обитания в соседних районах.

Однако почва после пожаров обогащается питательными элементами, такими, как фосфор, калий, кальций, магний. Животные, пасущиеся на участках, подвергающихся периодическим пожарам, получают более полноценное питание. Искусственное предотвращение пожаров вызывает изменения факторов среды обитания, для поддержания которых в естественных пределах необходимы периодические выгорания растительности.

3.1.1.6. Совокупное воздействие экологических факторов

Экологические факторы среды воздействуют на организм одновременно и совместно. Совокупное воздействие факторов (констелляция/ в той или иной мере взаимоизменяет характер воздействия каждого отдельного фактора.

Хорошо изучено влияние влажности воздуха на восприятие животными температуры. С повышением влажности уменьшается интенсивность испарения влаги с поверхности кожи, что затрудняет работу одного из наиболее эффективных механизмов приспособления к высокой температуре. Низкие температуры также легче переносятся в сухой атмосфере, имеющей меньшую теплопроводность (лучшие теплоизоляционные свойства). Таким образом, влажность среды меняет субъективное восприятие температуры у теплокровных животных, в том числе у человека.

В комплексном действии экологических факторов среды значение отдельных экологических факторов неравноценно. Среди них выделяют ведущие (главные) и второстепенные факторы.

Ведущими являются те факторы, которые необходимы для жизнедеятельности, *второстепенными* — существующие или фоновые факторы. Обычно у разных организмов различные ведущие факторы, даже если организмы живут в одном месте. Кроме того, смену ведущих факторов наблюдают при переходе организма в другой период своей жизни. Так, в период цветения ведущим фактором для растения может быть свет, а в период формирования семян — влага и питательные вещества.

Иногда недостаток одного фактора частично компенсируется усилением другого. Например, в Арктике продолжительный световой день компенсирует недостаток тепла.

3.1.2. Биотические факторы

Все живое, окружающее организм в среде обитания, составляет биотическую среду или биоту. *Биотические факторы* — это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие.

Взаимоотношения между животными, растениями, микроорганизмами чрезвычайно многообразны. Прежде всего различают *гомотипические реакции,* т. е. взаимодействие особей одного и того же вида, и *гетеротипические* — отношения представителей разных видов.

Представители каждого вида способны существовать в таком биотическом окружении, где связи с другими организмами обеспечивают им нормальные условия жизни. Главной формой проявления этих связей служат пищевые взаимоотношения организмов различных категорий, составляющие осно-

ву пищевых (трофических) цепей, сетей и трофической структуры биоты.

Кроме пищевых связей, между растительными и животными организмами возникают также пространственные взаимоотношения. В результате действия многих факторов разнообразные виды объединяются не в произвольном сочетании, а только при условии приспособленности к совместному обитанию.

3.1.2.1. Формы биотических взаимоотношений

Симбиоз (сожительство). Это форма взаимоотношений, при которой оба партнера или один из них извлекают пользу от другого.

Кооперация. Кооперация представляет собой длительное, неразделимое взаимовыгодное сожительство двух и более видов организмов. Например, отношения рака-отшельника и актинии.

Межвидовая взаимопомощь. Она заключается, например, в том, что птицы уничтожают личинок-паразитов под кожей буйволов или сороки предупреждают об опасности крупных копытных.

Комменсализм. Комменсализм — это взаимодействие между организмами, когда жизнедеятельность одного доставляет пищу (нахлебничество) или убежище (квартиранство) другому. Типичные примеры — гиены, подбирающие остатки недоеденной львами добычи, мальки рыб, прячущиеся под зонтиками крупных медуз, а также некоторые грибы, растущие у корней деревьев.

Мутуализм. Мутуализм — взаимополезное сожительство, когда присутствие партнера становится обязательным условием существования каждого из них. Примером служит сожительство клубеньковых бактерий и бобовых растений, которые могут совместно жить на почвах, бедных азотом, и обогащать им почву.

Антибиоз. Форма взаимоотношений, при которой оба партнера или один из них испытывают отрицательное влияние, называется антибиозом.

Конкуренция. Это — отрицательное воздействие организмов друг на друга в борьбе за пищу, местообитание и другие необходимые для жизни условия. Проявляется наиболее отчетливо на популяционном уровне.

Хищничество. Хищничество — отношение между хищником и жертвой, заключающееся в поедании одного организма другим. Хищники — это животные или растения, ловящие и поедающие животных как объект питания. Так, например, львы поедают растительноядных копытных, птицы -— насекомых, крупные рыбы — более мелких. Хищничество одновременно полезно для одного и вредно для другого организма.

В то же время все эти организмы необходимы друг другу. В процессе взаимодействия «хищник — жертва» происходят естественный отбор и приспособительная изменчивость, т. е. важнейшие эволюционные процессы. В естественных условиях ни один вид не стремится (и не может) привести к уничтожению другого. Более того, исчезновение какого-либо естественного «врага» (хищника) из среды обитания может способствовать вымиранию его жертвы.

Паразитизм. Это — взаимодействие организмов, при котором один из них живет за счет другого, находясь на поверхности или внутри его тела. Паразит использует в пищу тело своего хозяина постепенно, сохраняя ему жизнь до окончания своего жизненного цикла. С общебиологических позиций паразит также необходим хозяину. Исчезновение (или уничтожение) такого «естественного врага» наносит ущерб хозяину, так как слабые, отставшие в развитии или имеющие иные недостатки особи не будут уничтожаться, что способствует постепенной деградации и вымиранию. Вид, не имеющий «врагов», обречен на вырождение. Отмеченное обстоятельство имеет особо важное значение в таких случаях, как разработка и применение средств защиты растений в сельском хозяйстве.

Нейтрализм. Взаимонезависимость разных видов, обитающих на одной территории, называют *нейтрализмом.* Например, белки и лоси не конкурируют друг с другом, но засуха в лесу сказывается на тех и на других, хотя в разной степени.

3.1.2.2. Биотическое влияние на растения

Биотические факторы, воздействующие на растения как первичные продуценты органического вещества, подразделяют на зоогенные и фитогенные.

Зоогенные биотические факторы. К факторам воздействия животных на растительность прежде всего относится поедание растения целиком или отдельных его органов (частей). Объедание животными ветвей и побегов изменяет форму кроны деревьев. Значительное количество семян идет на питание

птиц и грызунов. Растения, повреждаемые животными-фитофагами, приобретают защитные приспособления (колючки, шипы и т. п.), образуют избыточную фитомассу, усиленно наращивают оставшиеся листья и т. п.

Экологически значимым фактором является и механическое воздействие животных на растения, заключающееся в повреждении всего растения при поедании его частей, а также вытаптывание.

Имеется и положительное влияние животных на жизненные процессы растений, например, опыление насекомыми и птицами.

Фитогенные биотические факторы. Растения, испытывая многообразные влияния от соседних растений, одновременно сами воздействуют на них. Повсеместно существует переплетение и срастание корней, охлестывание ветвями соседних крон, использование одним растением другого для прикрепления и многие другие формы взаимоотношений между растениями.

Любое растительное сообщество в свою очередь влияет на совокупность абиотических характеристик среды своего обитания. Известно, насколько специфика абиотических условий в пределах лесного массива отличается от таковых в поле или на участке степи.

3.1.2.3. Биотические факторы почвенного покрова

В процессах образования и функционирования почвы важнейшую роль играют живые организмы. В первую очередь к ним относятся зеленые растения, извлекающие из почвы питательные химические вещества и возвращающие их обратно с отмирающими тканями. В лесах основным материалом подстилки и гумуса служат листва и хвоя деревьев, определяющие кислотность почвы: pH хвои ели составляет 4,3, сосны — 5,1, листьев березы — 5,7. Растительность создает непрерывный поток зольных элементов из более глубоких слоев почвы к ее поверхности, т. е. их биологическую миграцию.

В почве постоянно обитает множество организмов различных групп. На 1 м^2 площади почвы встречаются десятки тысяч червей, мелких членистоногих. В ней живут грызуны, ящерицы, роют норы кролики. Часть жизненного цикла многих беспозвоночных (жуки, прямокрылые и т. п.) также проходит в почве. Ходы и норы способствуют перемешиванию и аэрации почвы, облегчают рост корней.

Проходя через пищеварительный тракт червя, почва измельчается, минеральные и органические компоненты перемешиваются, структура почвы улучшается.

Усредненная почвенная зоомасса (кг/га) составляет:

в тундре 70
в хвойных лесах 200
в лиственных лесах 1000
в пустыне 10

Протекающие в почве процессы синтеза, биосинтеза, разнообразные химические реакции преобразования веществ связаны с жизнедеятельностью бактерий. Некоторые бактерии участвуют только в цикле превращения одного элемента, например серы, другие — в циклах превращения нескольких элементов, например, углерода, азота, фосфора и кальция. При отсутствии в почве специализированных групп бактерий эту роль выполняют почвенные животные, которые переводят крупные растительные остатки в микроскопические частицы, таким образом делая органические вещества доступными для микроорганизмов.

Среди почвенных бактерий особую функцию выполняют нитрифицирующие (азотфиксирующие), играющие важнейшую роль в круговороте азота в природе. За год бактериями фиксируется 160—170 млн т азота.

3.1.3. Ресурсы среды

Ресурсы (от франц. *ressources* — средства, запасы, возможности, источники чего-либо) — это любые источники и предпосылки получения из внешней среды (среды обитания) необходимых для жизнедеятельности организма веществ и энергии, а также их запасы. Поскольку ресурсы характеризуют количественно, то в отличие от условий среды они могут расходоваться и исчерпываться (см. разд. 7.5). К ресурсам живых организмов, помимо веществ для построения их тел (пищевой ресурс) и энергии для жизнедеятельности (энергетический ресурс), иногда относят и пространство, если обладание им является необходимым условием жизни организмов.

Энергетическим ресурсом зеленых растений для фотосинтеза является излучение Солнца, а при хемосинтезе — энергия земных недр. Продуценты (зеленые растения) составляют пищевые и энергетические ресурсы для консументов первого порядка (травоядных), которые в свою очередь являются ре-

сурсами для консументов второго порядка (хищников и паразитов), а после смерти — для редуцентов (микроорганизмов), использующих запасенные в тканях трупов энергию и вещество.

Один и тот же экологический фактор может выступать как в качестве условия, так и в качестве ресурса. Например, концентрация кислорода — энергетический ресурс большинства сухопутных животных, однако применительно к рыбам она может рассматриваться и как показатель условий жизни.

Лучистая энергия Солнца как ресурс имеет следующие особенности:

- только около 44% солнечной радиации, попадающей на земную поверхность, потенциально может служить источником энергии для фотосинтеза, а остальная часть спектра излучения растениями не улавливается;
- энергия, попавшая на хлорофилл зеленого листа, но не использованная для фотосинтеза, для живого «безвозвратно» утрачивается;
- энергия, превращенная при фотосинтезе из лучистой в химическую, совершает свой земной путь лишь однажды, чем принципиально отличается от биогенов, многократно проходящих через бесчисленные поколения живых существ.

В связи с этим важно отметить, что природные (естественные) ресурсы делят на заменимые и незаменимые.

Заменимые природные ресурсы — это такие ресурсы, которые могут быть заменены сейчас или в обозримом будущем. Например, для человека возможна замена в будущем минерального топлива на солнечную, ветровую энергию и т. п.

Незаменимые природные ресурсы соответственно не могут быть ни практически, ни даже теоретически когда-либо заменены иными. Например, кислород и вода для живых организмов незаменимы.

3.2. Закономерности воздействия факторов среды на организмы

Экологические факторы динамичны, изменчивы во времени и пространстве. Теплое время года регулярно сменяется холодным, в течение суток наблюдается колебание температуры и влажности, день сменяет ночь и т. п. Все это природные (естественные) изменения экологических факторов, однако

в них может вмешиваться человек. Антропогенное влияние на природную среду проявляется в изменении либо режимов экологических факторов (абсолютных значений или динамики), либо состава факторов (например, разработка, производство и применение не существовавших ранее в природе средств защиты растений, минеральных удобрений и др.).

3.2.1. Закон минимума Либиха

Любому живому организму необходимы не вообще температура, влажность, минеральные и органические вещества или какие-нибудь другие факторы, а их определенный режим. Реакция организма зависит от количества (дозы) фактора. Кроме того, живой организм в природных условиях подвергается воздействию многих экологических факторов (как абиотических, так и биотических) одновременно. Растения нуждаются в значительных количествах влаги и питательных веществ (азот, фосфор, калий) и одновременно в относительно «ничтожных» количествах таких элементов, как бор и молибден.

Любой вид животного или растения обладает четкой избирательностью к составу пищи: каждому растению необходимы определенные минеральные элементы. Любой вид животного по-своему требователен к качеству пищи. Для того чтобы нормально существовать, развиваться, организм должен иметь весь набор необходимых факторов в оптимальных режимах и достаточных количествах.

Тот факт, что ограничение дозы (или отсутствие) любого из необходимых растению веществ, относящихся как к макро-, так и к микроэлементам, ведет к одинаковому результату — замедлению роста, обнаружен и изучен одним из основоположников агрохимии немецким химиком Юстасом фон Либихом. Сформулированное им в 1840 г. правило[1] называют *законом минимума Либиха:*

> величина урожая определяется количеством в почве того из элементов питания, потребность растения в котором удовлетворена меньше всего.

При этом Ю. Либих рисовал бочку с дырками, показывая, что нижняя дырка в бочке определяет уровень жидкости в ней.

[1] Термины «закон», «правило», «принцип» и т. д. в естествознании очень условны и чаще всего взаимозаменимы.

Закон минимума справедлив как для растений, так и для животных, включая человека, которому в определенных ситуациях приходится употреблять минеральную воду или витамины для компенсации недостатка каких-либо элементов в организме.

Впоследствии в закон Либиха были внесены уточнения. Важной поправкой и дополнением служит *закон неоднозначного* (селективного) *действия фактора на различные функции организма:*

любой экологический фактор неодинаково влияет на функции организма, оптимум для одних процессов, например дыхания, не есть оптимум для других, например пищеварения, и наоборот.

Э. Рюбелем в 1930 г. был установлен *закон (эффект) компенсации (взаимозаменяемости) факторов:*

отсутствие или недостаток некоторых экологических факторов может быть компенсировано другим близким (аналогичным) фактором.

Например, недостаток света может быть компенсирован для растения обилием диоксида углерода, а при построении раковин моллюсками недостающий кальций может заменяться на стронций.

Однако подобные возможности чрезвычайно ограничены. В 1949 г. В. Р. Вильяме сформулировал *закон незаменимости фундаментальных факторов:*

полное отсутствие в среде фундаментальных экологических факторов (света, воды, биогенов и т. д.) не может быть заменено другими факторами.

К этой группе уточнений закона Либиха относится несколько отличное от других *правило фазовых реакций «польза — вред»:*

малые концентрации токсиканта действуют на организм в направлении усиления его функций (их стимулирования), тогда как более высокие концентрации угнетают или даже приводят к его смерти.

Эта токсикологическая закономерность справедлива для многих (так, известны лечебные свойства малых концентраций змеиного яда), но не всех ядовитых веществ.

3.2.2. Закон лимитирующих факторов Шелфорда

Фактор среды ощущается организмом не только при его недостатке. Проблемы возникают также и при избытке любого из экологических факторов. Из опыта известно, что при недостатке воды в почве ассимиляция растением элементов минерального питания затруднена, но и избыток воды ведет к аналогичным последствиям: возможна гибель корней, возникновение анаэробных процессов, закисание почвы и т. п. Жизненная активность организма также заметно угнетается при малых значениях и при чрезмерном воздействии такого абиотического фактора, как температура (рис. 3.11).

Фактор среды наиболее эффективно действует на организм только при некотором среднем его значении, оптимальном для данного организма. Чем шире пределы колебаний какого-либо фактора, при котором организм может сохранять жизнеспособность, тем выше устойчивость, т. е. толерантность данного организма к соответствующему фактору (от лат. *tolerantia* — терпение). Таким образом, толерантность — это способность организма выдерживать отклонения экологических факторов от оптимальных для его жизнедеятельности значений.

Впервые предположение о лимитирующем (ограничивающем) влиянии максимального значения фактора наравне с минимальным значением было высказано в 1913 г. американским зоологом В. Шелфордом, установившим фундаментальный биологический *закон толерантности:*

любой живой организм имеет определенные, эволюционно унаследованные верхний и нижний пределы устойчивости (толерантности) к любому экологическому фактору.

Другая формулировка закона В. Шелфорда поясняет, почему закон толерантности одновременно называют *законом лимитирующих факторов:*

даже единственный фактор за пределами зоны своего оптимума приводит к стрессовому состоянию организма и в пределе — к его гибели.

Поэтому экологический фактор, уровень которого приближается к любой границе диапазона выносливости организма или заходит за эту границу, называют *лимитирующим фактором.*

Закон толерантности дополняют положения американского эколога Ю. Одума:

- организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного экологического фактора и низкий диапазон в отношении другого;
- организмы с широким диапазоном толерантности в отношении всех экологических факторов обычно наиболее распространены;
- диапазон толерантности может сузиться и в отношении других экологических факторов, если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для организма;

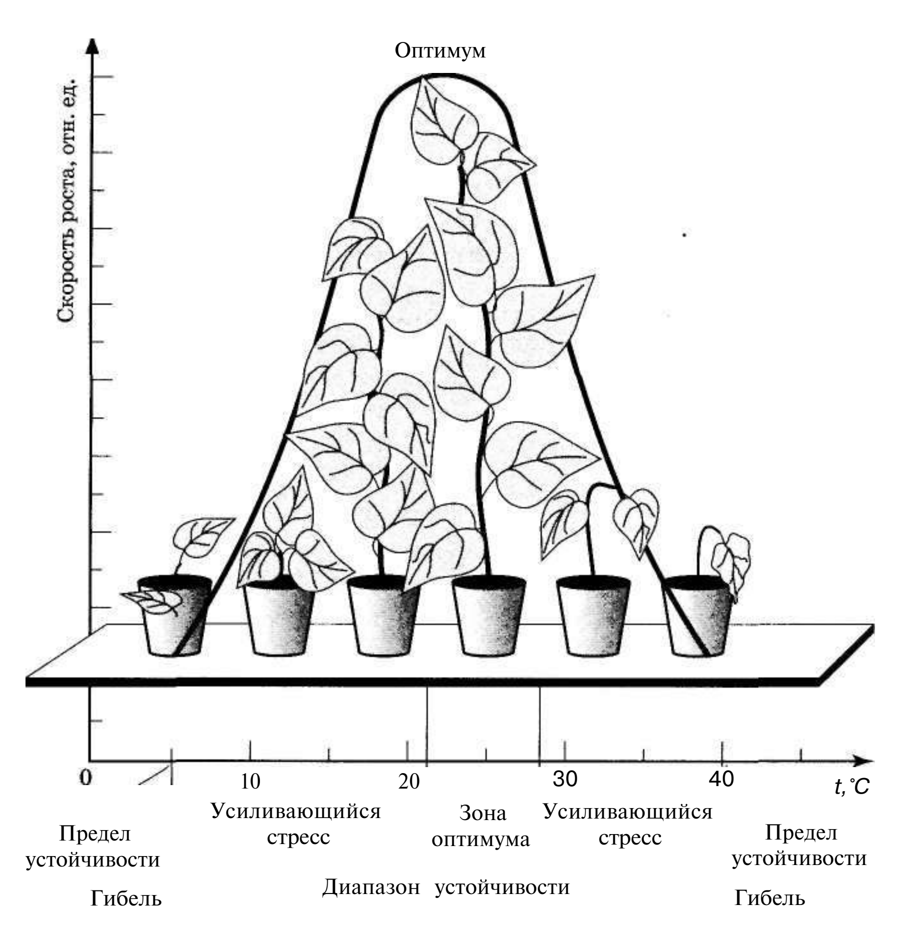


Рис. 3.11. Влияние температуры на скорость роста растения (иллюстрация) действия закона толерантности)

- многие факторы среды становятся ограничивающими (лимитирующими) в особо важные (критические) периоды жизни организмов, особенно в период размножения.

К этим положениям также примыкает закон Митчерлиха-Бауле, названный А. Тинеманом *законом совокупного действия:*

совокупность факторов воздействует сильнее всего на те фазы развития организмов, которые имеют наименьшую пластичность — минимальную способность к приспособлению.

Графическая иллюстрация воздействия концентрации некоего вещества в составе среды обитания на жизненную активность организма приведена на рис. 3.12.

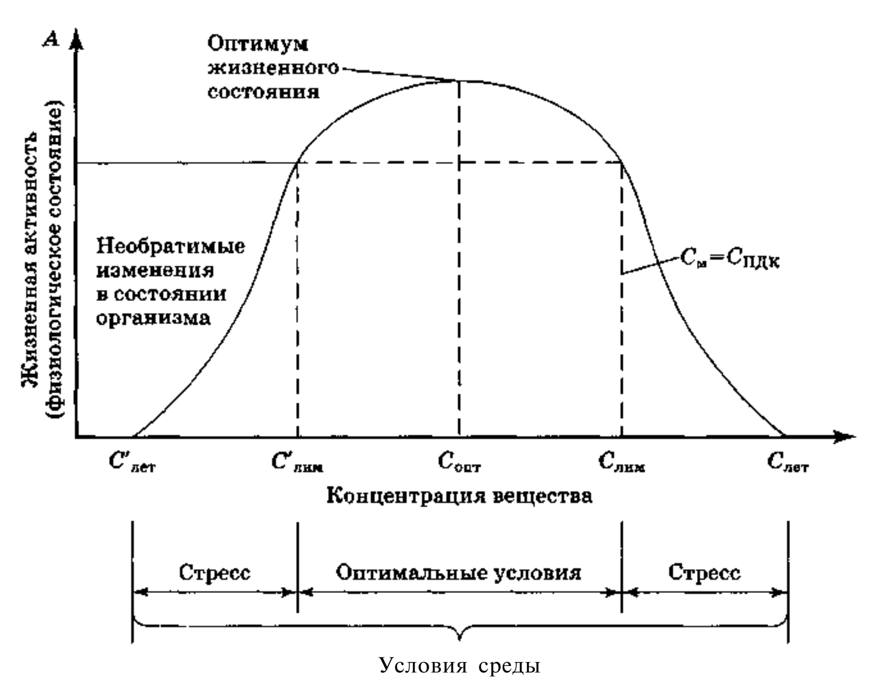


Рис. 3.12. Интерпретация закона толерантности на примере воздействия на организм концентрации некоего вещества как экологического фактора: $C_{лет}$, $C_{лет}$, $C'_{лим}$> $C_{лим}$, $C_{опт}$, $C_м$, $C_{пдк}$ — концентрации летальная, лимитирующая, оптимальная, максимальная и предельно допустимая

3.3. Реакция организмов на изменения уровня экологических факторов

Оптимальное воздействие на разные организмы один и тот же фактор может оказывать при различных значениях. Так, одни растения предпочитают очень влажную почву, а другие — относительно сухую. Некоторые животные любят сильную жару, иные лучше переносят умеренную температуру среды и т. д.

Кроме того, живые организмы делят на способных существовать в широком или узком диапазонах изменения какого-либо фактора среды. К каждому экологическому фактору организмы приспосабливаются относительно независимым путем. Организм может иметь приспособленность к узкому диапазону одного фактора и к широкому диапазону — другого. Для организма имеет значение не только амплитуда, но и скорость колебаний того или иного фактора.

Если влияние условий среды не достигает предельных значений, живые организмы реагируют на него определенными действиями или изменениями своего состояния, что в конечном итоге ведет к выживанию вида. Преодоление неблагоприятных воздействий животными возможно двумя способами: 1) путем их избегания, 2) путем приобретения выносливости. Первый способ используют животные, обладающие достаточной подвижностью, благодаря которой они мигрируют, строят убежища и т. п.

Требовательность и толерантность к факторам среды определяет область географического распространения особей рассматриваемого вида вне зависимости от степени постоянства их обитания, т. е. *ареал вида*.

В основе ответных реакций растений лежит выработка приспособительных изменений их строения и процессов жизнедеятельности. При ритмически повторяющихся климатических ситуациях растения и животные могут приспособиться путем выработки соответствующей временной организации жизненных процессов, в результате чего у них чередуются периоды активного функционирования организма с периодами спячки (ряд животных) или с состоянием покоя (растения).

3.3.1. Изменчивость

Изменчивость — одно из главных свойств живого на различных уровнях его организации. Для каждого вида важна изменчивость составляющих его особей. Например, люди от-

личаются друг от друга ростом, телосложением, цветом глаз и кожи, проявляют различные способности. Аналогичная внутривидовая изменчивость присуща всем организмам: слонам, мухам, дубам, воробьям и прочим.

Особи любого вида различаются между собой внешними и внутренними признаками. **Признак** — любая особенность организма как в его внешнем облике (размер, форма, окраска и т. п.), так и во внутреннем строении. Устойчивость к болезням, низким или высоким температурам, способность плавать, летать и прочее — все это признаки, многие из которых можно изменить или развить путем обучения или тренировки. Однако главное их свойство — генетическая, т.е. наследственная, основа. Каждый организм появляется на свет с набором определенных признаков.

Проведенные исследования показали, что наследственная основа признаков любого вида закодирована в молекулах ДНК, т. е. в генах организма, совокупность которых называется его **генотипом.** Генотип практически всех организмов, включая человека, представлен не одним, а двумя наборами генов. Рост тела сопровождается делением клеток, в ходе которого каждая новая клетка получает точную копию обоих наборов генов. Однако последующему поколению передается лишь по одному набору от каждого из родителей, и поэтому у детей возникают новые комбинации генов, отличные от родительских. Таким образом, все потомки, а следовательно, и особи вида (за исключением однояйцевых близнецов) отличаются своими генотипами.

Генетическая изменчивость — основа наследственной изменчивости признаков. Еще один источник наследственной изменчивости — мутация ДНК, затрагивающая любой ген или группу генов.

Различия, возникающие в результате обучения, тренировки или просто травмы, являются развитием какого-либо врожденного признака, но не меняют его генетической основы.

Если наследственная изменчивость при половом размножении неизбежна, то при бесполом воспроизводстве особей, т. е. при клонировании, наблюдается иная картина. Так, при черенковании растений новый организм появляется в результате простого клеточного деления, сопровождающегося точным копированием родительской ДНК. Поэтому все особи клона (за исключением мутантов) генетически идентичны. **Генофонд** — совокупность образцов генов всех особей некоторой группы организмов одного вида. Генофонд вида непостоя-

нен, он может меняться от поколения к поколению. Если особи, обладающие редкими признаками, не размножаются, то часть генофонда сокращается.

В природе постоянно идет изменение генофонда вида путем естественного отбора, являющегося основой процесса эволюции. Каждое поколение подвергается отбору на выживаемость и воспроизведение, поэтому практически все признаки организмов в той или иной мере служат выживанию и воспроизведению вида.

Однако генофонд можно изменить и целенаправленно с помощью искусственного отбора. Современные породы домашних животных и сорта культурных растений были выведены из диких предков именно так. Также возможно вмешательство в генофонд при скрещивании близкородственных видов (неблизкородственные виды не дают потомства). Этот метод называют *гибридизацией,* а потомков — *гибридами.*

Последние достижения науки связаны с разработкой технологии генной инженерии, заключающейся в получении специфических генов (отрезков ДНК) одного вида и введении их другому виду непосредственно без скрещивания. Это позволяет гибридизировать любые виды, не только близкородственные, и потому вызывает серьезные споры из-за непредсказуемости конечных результатов такого радикального вмешательства в генофонды живых существ.

3.3.2. Адаптация

Животные и растения вынуждены приспосабливаться к множеству факторов непрерывно изменяющихся условий жизни. Динамичность экологических факторов во времени и пространстве зависит от астрономических, гелиоклиматических, геологических процессов, которые выполняют управляющую роль по отношению к живым организмам.

Признаки, способствующие выживанию организма, постепенно усиливаются под действием естественного отбора, пока не будет достигнута максимальная приспособленность к существующим условиям. Приспособление может происходить на уровне клетки, тканей и даже целого организма, затрагивая форму, размеры, соотношение органов и т. п. Организмы в процессе эволюции и естественного отбора вырабатывают наследственно закрепленные особенности, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность в изменившихся экологических условиях, т. е. происходит адаптация.

Адаптация — приспособление организмов (и видов) к среде — фундаментальное свойство живой природы. Среда обитания любого живого существа, с одной стороны, медленно и неуклонно изменяется на протяжении жизни многих поколений соответствующего биологического вида, а с другой стороны, она предъявляет организму разнообразные требования, меняющиеся в короткие отрезки индивидуальной жизни. Поэтому различают три уровня процесса адаптации.

Генетический уровень. Данный уровень обеспечивает адаптацию и сохранение жизнеспособности вида в поколениях на основе свойства генетической изменчивости.

Глубокие изменения обмена веществ. Приспособление к сезонным и годичным природным циклам осуществляется с помощью глубоких изменений обмена веществ. У животных центральную роль в этих процессах играют нейрогуморальные механизмы (см. разд. 8.1.5), например, подготовка к сезону размножения или к зимней спячке «включается» нервными стимулами, а осуществляется благодаря изменениям в гормональном статусе организма. У растений сезонные и иные долговременные изменения обеспечиваются работой фитогормонов, ростовых факторов.

Быстрые изменения в ответ на кратковременные отклонения факторов среды. У животных они осуществляются разнообразными нервными механизмами, ведущими к перемене поведения и быстрой обратимой трансформации обмена веществ. У растений примером быстрых изменений являются реакции на смену освещенности.

Адаптивное значение имеют практически все закономерности, характерные для живого. В ходе естественного отбора виды преображаются и все лучше адаптируются к своим местообитаниям. Например, жирафы постепенно приспособились к поеданию листьев с вершин деревьев. С увеличением приспособленности организмов к местообитанию скорость их изменения понижается.

В случае отношений «хищник—жертва» естественный отбор влияет прежде всего на гены, позволяющие наиболее эффективно избегать врага, а у хищников — на гены, повышающие его охотничьи способности. Это справедливо для всех биотических взаимодействий. Организмы, почему-либо утратившие способность к адаптации, обречены на вымирание.

Итак, при перемене условий существования (отклонении значения одного или нескольких экологических факторов за пределы обычных колебаний) одни виды адаптируются и пре-

образуются, а другие виды вымирают. Это зависит от ряда обстоятельств. Основное условие адаптации — выживание и размножение хотя бы нескольких особей в новых условиях, которое связано с генетическим разнообразием генофонда и степенью изменения среды. При более разнообразном генофонде даже в случае сильных изменений среды некоторые особи сумеют выжить, тогда как при малом разнообразии генофонда даже незначительные колебания экологических факторов могут привести к вымиранию вида.

Если изменения условий малозаметны или происходят постепенно, то большинство видов может приспособиться и выжить. Чем резче изменение, тем большее разнообразие генофонда необходимо для выживания. В случае катастрофических изменений (например, ядерной войны), возможно, не выживет ни один вид. Важнейший экологический принцип гласит:

выживание вида обеспечивается его генетическим разнообразием и слабыми колебаниями экологических факторов.

К генетическому разнообразию и изменению среды можно добавить еще один фактор — географическое распространение. Чем шире распространен вид (чем больше ареал вида), тем он генетически более разнообразен и наоборот. Кроме того, при обширном географическом распространении некоторые участки ареала могут быть удалены или изолированы от районов, где нарушались условия существования. На этих участках вид сохраняется, даже если он исчезнет из других мест.

Если часть особей выжила в новых условиях, то дальнейшая адаптация и восстановление численности зависят от скорости воспроизведения, так как изменение признаков происходит только путем отбора в каждом поколении. Например, пара насекомых имеет сотни потомков, проходящих жизненный цикл развития за несколько недель. Следовательно, скорость воспроизведения у них в тысячу раз выше, чем у птиц, выкармливающих только 2—6 птенцов в год, а значит, одинаковый уровень приспособленности к новым условиям разовьется во столько же раз быстрее. Именно поэтому насекомые быстро адаптируются и приобретают устойчивость к всевозможным «средствам защиты растений», тогда как другие дикие виды от этих обработок погибают.

Важно отметить, что сами по себе ядохимикаты не вызывают полезных мутаций. Изменения возникают случайно. Адап-

тивные признаки развиваются благодаря наследственному разнообразию, уже существующему в генофонде вида. Имеют значение и размеры организма. Мухи могут существовать даже в мусорном ведре, а крупным животным необходимы для выживания обширные территории.

Адаптация имеет следующие особенности:

Приспособленность к одному фактору среды, например повышенной влажности, не дает организму такой же приспособленности к другим условиям среды (температуре и т. п.). Эта закономерность называется *законом относительной независимости адаптации:*

высокая адаптированность к одному из экологических факторов не дает такой же степени приспособления к другим условиям жизни.

Каждый вид организмов в вечно меняющейся среде жизни по-своему адаптирован. Это выражается сформулированным Л. Г. Раменским в 1924 г. *правилом экологической индивидуальности:*

каждый вид специфичен по экологическим возможностям адаптации; двух идентичных видов не существует.

Правило соответствия условий среды, обитания генетической предопределенности организма гласит:

вид организмов может существовать до тех пор и постольку, поскольку окружающая его среда соответствует генетическим возможностям приспособления к ее колебаниям и изменениям.

Отбор — это процесс изменения генофонда уже существующего вида. Ни человек, ни современная природа не могут создать новый генофонд или новый вид из ничего, на пустом месте. Меняется лишь то, что уже есть.

3.4. Экологическая ниша организма

3.4.1. Понятия и определения

Любой живой организм приспособлен (адаптирован) к определенным условиям окружающей среды. Изменение ее параметров, их выход за некоторые границы подавляет жизнеде-

ятельность организмов и может вызвать их гибель. Требования того или иного организма к экологическим факторам среды обуславливают ареал (границы распространения) того вида, к которому организм принадлежит, а в пределах ареала — конкретные места обитания.

Местообитание — пространственно ограниченная совокупность условий среды (абиотической и биотической), обеспечивающая весь цикл развития и размножения особей (или группы особей) одного вида. Это, например, живая изгородь, пруд, роща, каменистый берег и т. д. При этом в пределах местообитания могут выделяться места с особыми условиями (например, под корой гниющего ствола дерева в роще), в ряде случаев называемые *микроместообитаниями.*

Для совокупной характеристики физического пространства, занимаемого организмами вида, их функциональной роли в биотической среде обитания, включая способ питания (трофический статус), образ жизни и взаимоотношения с другими видами, американским ученым Дж. Гриннеллом в 1928 г. введен термин «экологическая ниша». Его современное определение таково.

Экологическая ниша — это совокупность

- всех требований организма к условиям среды обитания (составу и режимам экологических факторов) и место, где эти требования удовлетворяются;
- всего множества биологических характеристик и физических параметров среды, определяющих условия существования того или иного вида, преобразование им энергии, обмен информацией со средой и себе подобными.

Таким образом, экологическая ниша характеризует степень биологической специализации вида. Можно утверждать, что местообитание организма — это его «адрес», тогда как экологическая ниша — его «род занятий», или «стиль жизни», или «профессия».

Экологическая специфичность видов подчеркивается *аксиомой экологической адаптированности:*

> каждый вид адаптирован к строго определенной, специфичной для него совокупности условий существования — экологической нише.

Поскольку виды организмов экологически индивидуальны, то они имеют и специфические экологические ниши.

Таким образом, сколько на Земле видов живых организмов — столько же и экологических ниш.

Организмы, ведущие сходный образ жизни, как правило, не живут в одних и тех же местах из-за межвидовой конкуренции. Согласно установленному в 1934 г. советским биологом Г. Ф. Гаузе (1910—1986) *принципу конкурентного взаимоисключения:*

> два вида не занимают одну и ту же экологическую нишу.

В природе также действует *правило обязательности заполнения экологических ниш:*

> пустующая экологическая ниша всегда и обязательно будет заполнена.

Народная мудрость сформулировала эти два постулата так: «В одной берлоге не могут ужиться два медведя» и «Природа не терпит пустоты».

Эти системные наблюдения реализуются в формировании биотических сообществ и биоценозов. Экологические ниши всегда бывают заполнены, хотя на это порой требуется значительное время. Встречающееся выражение «свободная экологическая ниша» означает, что в определенном месте слаба конкуренция за какой-либо вид корма и есть недостаточно используемая сумма других условий для некоего вида, входящего в аналогичные природные системы, но отсутствующего в рассматриваемой.

Особенно важно учитывать природные закономерности при попытках вмешаться в существующую (или сложившуюся в определенном месте) ситуацию с целью создания более благоприятных условий для человека. Так, биологами доказано следующее: в городах при повышении загрязненности территории пищевыми отходами возрастает численность ворон. При попытке улучшить ситуацию, например, путем их физического уничтожения население может столкнуться с тем, что экологическая ниша в городской среде, освобожденная воронами, будет быстро занята видом, имеющим близкую экологическую нишу, а именно — крысами. Такой результат вряд ли можно будет признать победой.

Подробнее закономерности биоценотического дублирования изложены далее в разд. 5.5.

3.4.2. Специализированные и общие ниши

Экологические ниши всех живых организмов делят на специализированные и общие. Это деление зависит от основных источников питания соответствующих видов, размеров местообитания, чувствительности к абиотическим факторам среды.

Специализированные ниши. Большинство видов растений и животных приспособлены к существованию лишь в узком диапазоне климатических условий и иных характеристик окружающей среды, питаются ограниченным набором растений или животных. Такие виды имеют специализированную нишу, определяющую их местообитание в природной среде.

Так, гигантская панда имеет узко специализированную нишу, ибо на 99% питается листьями и побегами бамбука. Массовое уничтожение некоторых видов бамбука в районах Китая, где обитала панда, привело это животное к вымиранию.

Разнообразие видов и форм растительного и животного мира, существующее во влажных тропических лесах, связано с наличием там ряда специализированных экологических ниш в каждом из четко выраженных ярусов лесной растительности. Поэтому интенсивная вырубка этих лесов стала причиной вымирания миллионов специализированных видов растений и животных.

Общие ниши. Видам с общими нишами характерна легкая приспосабливаемость к изменениям экологических факторов среды обитания. Они могут успешно существовать в разнообразных местах, питаться различной пищей и выдерживают резкие колебания природных условий. Общие экологические ниши имеются у мух, тараканов, мышей, крыс, людей и т. д.

Для видов, имеющих общие экологические ниши, существует значительно меньшая угроза вымирания, чем для имеющих специализированные ниши.

3.4.3. Экологические формы

Окружающая природная среда формирует **фенотип** организмов — совокупность морфологических, физиологических и поведенческих признаков. Виды, обитающие в сходных условиях (при сходной совокупности экологических факторов),

обладают похожей приспособленностью к этим условиям, даже если они относятся к разным категориям в классификации животного и растительного мира. Экология учитывает это, классифицируя организмы на различные экологические (жизненные) формы. При этом *жизненной формой вида* называют сложившийся комплекс его биологических, физиологических и морфологических свойств, обусловливающих определенную реакцию на воздействие окружающей среды. Классификаций организмов по жизненным формам существует много. Так, например, выделяют геобионтов — обитателей почвы, дендробионтов — связанных с древесными растениями, хортобионтов — обитателей травяного покрова и многое другое. Гидробионтов — обитателей водной среды принято делить на такие экологические формы, как бентос, перифитон, планктон, нектон, нейстон.

Бентос (от греч. *benthos* — глубина) — донные организмы, ведущие прикрепленный или свободный образ жизни, в том числе обитающие в слое донного осадка. Преимущественно это моллюски, некоторые низшие растения, ползающие личинки насекомых.

Перифитон — животные и растения, прикрепленные к стеблям высших растений и поднимающиеся над дном.

Планктон (от греч. *plagktos* — парящий) — плавающие организмы, способные совершать вертикальные и горизонтальные перемещения в основном в соответствии с движением масс водной среды. Принято выделять фитопланктон, относящийся к продуцентам, и зоопланктон, относящийся к консументам и питающийся фитопланктоном.

Нектон (от греч. *nektos* — плавающий) — свободно и самостоятельно плавающие организмы — преимущественно рыбы, амфибии, крупные водные насекомые, ракообразные.

Нейстон — совокупность морских и пресноводных организмов, обитающих у поверхности воды; например, личинки комаров, водомерки, из растений — ряска и пр.

Экологическая форма — отражение приспособленности самых разнообразных организмов к отдельным экологическим факторам, являющимся в процессе эволюции лимитирующими. Так, деление растений на гигрофиты (влаголюбивые), мезофиты (средней требовательности к влаге) и ксерофиты (сухолюбивые) отражает их реакцию на конкретный экологический фактор — влагу. Вместе с тем растения-ксерофиты представляют с животными-ксеробионтами единую экологическую форму, так как и те

и другие обитают в пустынях и имеют специфическую адаптацию, препятствующую потерям влаги (например, получение воды из жиров).

3.5. Организмы — индикаторы качества среды

Чувствительность организмов к изменениям условий среды и особенно к наличию конкретных химических примесей положена в основу биологической индикации и биотестирования, которые используют наряду с методами оценки загрязнения природной среды с помощью приборов. Редкие, как правило, с т е н о б и о н т н ы е (требующие строго определенных условий существования) виды часто являются лучшими индикаторами (показателями) состояния среды. Их исчезновение служит доказательством неблагоприятных воздействий на среду обитания в конкретных местах.

Наибольшее распространение получил метод л и х е н о и н д и к а ц и и (от лат. *lichen* — лишайник), основанный на учете количества лишайников в городских насаждениях, районах крупных предприятий. Наличие лишайников на стволах деревьев взаимосвязано с химическим составом (загрязненностью) воздуха. В Англии для определения средней концентрации $S0_2$ (мг/м^3) в атмосферном воздухе используют эмпирическое уравнение:

$$C_{S02} = 18,72 - 3,94Q - \text{0Д5Л} - 2,38j3,$$

где Q — освещенность на высоте 1,5 м, лк; h — средняя высота мха на стволе, м; p — степень покрытия древесной растительности лишайниками, %.

В лесных массивах удобными индикаторами качества служат жуки-короеды. Сильно ослабленные и отмирающие деревья заселяются короедами. Однако, если причиной их гибели послужили химические вещества, не характерные нормальному составу воздуха, короеды не получают широкого распространения. Отмирание насаждений при отсутствии заселения деревьев короедами — надежное доказательство антропогенного загрязнения воздуха.

Поскольку в настоящее время установлены допустимые нормативы присутствия в воде не на все возможные вещества и далеко не каждое из них можно определить непосредственно химическим экспериментом, то биотестирование можно счи-

тать обязательным для получения интегральных оценок загрязненности водоемов ксенобиотиками (любое чужеродное для данного организма или группы организмов разного вида вещество, вызывающее нарушение биотических процессов, включая гибель организмов). В ряде случаев, и особенно в условиях аварийной ситуации, бывает необходим экспресс-анализ самого факта загрязнения воды. Хотя биотестирование и не позволяет установить спектр чужеродных веществ в воде (если они неизвестны из других источников), но общий вывод можно получить быстро и надежно.

В качестве организмов-индикаторов (биоиндикаторов) используют бактерии, водоросли, беспозвоночные (инфузории, ракообразные, моллюски). По дикорастущим растениям (табл. 3.3) можно судить о характере и состоянии почвы, ибо среда обитания растений определяется такими свойствами почв, как влагоемкость, структура, плотность, температура, содержание кислорода, питательных веществ, тяжелых металлов и солей.

Таблица 3.3

Примеры растений-биоиндикаторов

Индицируемый фактор загрязнения среды обитания	Растение-биоиндикатор
Общее загрязнение	Лишайники и мхи
Тяжелые металлы	Слива, фасоль обыкновенная
Диоксид серы ($S0_2$)	Ель, люцерна
Фтористый водород (HF)	Косточковые плоды, гладиолус
Хлористый водород (HCl)	Береза бородавчатая, земляника лесная
Аммиак (NH_3)	Подсолнечник, конский каштан
Сероводород (H_2S)	Шпинат, горох
Фотосмог	Крапива, табак
Засоленность почв	Гал офиты; например, лебеда
Застойная сырость почв	Мята, полевой хвощ
Повышенная сухость почв	Ромашка, полынь
Повышенная влажность почв	Мята, щавель, хвощи
Повышенная уплотненность почв	Пырей, лютик ползучий
Песчаность почв	Мокрица, коровяк
Глинистость почв	Лютик ползучий, одуванчик, дымянка

Показателем условий существования служит и общее число видов, обитающих в данном месте. Его уменьшение может указывать на изменение (загрязнение) раньше, чем выявится снижение общего количества особей или плодородия.

Контрольные вопросы и задания

3.1. Что такое среда обитания и какие среды заселены организмами?
3.2. Какие факторы среды относят к абиотическим и биотическим?
3.3. Как называют совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других?
3.4. Что такое ресурсы живых существ, как они классифицируются и в чем их экологическое значение?
3.5. Как формулируется закон минимума? Какие существуют к нему уточнения?
3.6. Сформулируйте закон толерантности. Кто установил эту закономерность?
3.7. Приведите примеры использования законов минимума и толерантности в практической деятельности.
3.8. Какие механизмы позволят живым организмам компенсировать действие экологических факторов?
3.9. В чем различие между местообитанием и экологической нишей?
3.10. Какие факторы следует учитывать в первую очередь при создании проектов управления экосистемами. Почему?

ГЛАВА **4**

ЭКОЛОГИЯ ПОПУЛЯЦИЙ[1] (ДЕМЭКОЛОГИЯ)

С. С. Четвериковым (1903) сформулировано *правило объединения в популяции:*

индивиды любого вида живого всегда представлены в природной среде не изолированными отдельностями, а только их определенным образом организованными совокупностями.

Особи любого вида живых организмов распределены в пределах ареала неравномерно. Наблюдения показывают, что существует «островная» форма распределения групп особей и форма «сгущений». Участки с относительно высокой встречаемостью особей данного вида чередуются с участками с низкой плотностью. «Центры плотности» населения каждого вида и являются, как правило, популяциями. Популяция — первая надорганизменная структурная единица вида[2].

Популяция — это минимальная самовоспроизводящаяся группа особей одного вида, на протяжении эволюционно длительного времени населяющая определенное пространство, образующая генетическую систему и формирующая собственную экологическую нишу[3].

[1] Экологию популяций часто, особенно в биологии, называют демэкологией.

[2] В любой области науки с целью систематизации и обобщения полученных знаний принято разделять изучаемый материал на некие минимальные единицы, далее разумно не делимые. В химии такой единицей является атом, в генетике — ген, в биологической систематике — вид, при изучении экологических систем — биогеоценоз. Популяция признана далее неподразделимой единицей при изучении эволюции живого, или, иначе, популяция — самая мелкая, элементарная группа особей из тех, которым присуща эволюция.

[3] Данное определение охватывает все группы организмов, кроме вирусов, которые на таком уровне организации пока наукой изучены недостаточно.

У растений совокупность индивидуумов одного вида среди особей других видов называют *ценопопуляцией.*

Наиболее близким по значению к популяции является известное из курса истории понятие «племя».

Постоянное обновление популяции сопровождается сложными процессами обмена генетическим материалом, происходящим в результате случайного подбора родительских пар. В некотором смысле она напоминает котел, в котором происходит постоянное перемешивание материала, идущего на создание свойств новых, нарождающихся организмов. Одновременно происходит отбор и закрепление таких видовых признаков и свойств, которые оказываются полезными для поддержания жизни популяции в сложившихся условиях.

Необходимость сужения понятия «вид» до понятия «популяция» в биологии (в том числе и в экологии) вызвано следующим. Существование ареала распространения вида не означает реальной возможности всем особям свободно перемещаться в его границах. Степень подвижности особей выражается расстоянием, на которое может перемещаться животное, т. е. *радиусом активности.* Для растений этот радиус определяется расстоянием, на которое распространяется пыльца, семена или вегетативные части, способные дать начало новому растению. Для улитки он составляет несколько десятков метров, для ондатры — несколько сотен метров, для северного оленя — более ста километров.

Вследствие ограниченности радиуса активности лесные полевки, обитающие в одном лесу, имеют мало шансов встретиться в период размножения с полевками соседнего леса, хотя их встречи не исключаются полностью. Это приводит к обособлению отдельных групп — популяций. Так, например, популяцию образуют все особи окуня в небольшом озере или все деревья одного вида в лесу.

Таким образом, популяция представляет собой форму существования вида, обеспечивающую приспособленность его к конкретным условиям среды. Все живые существа входят в популяции.

Численность популяций может резко меняться по сезонам и годам. Известно массовое размножение в некоторые годы леммингов (мелких грызунов), саранчи, болезнетворных микробов, божьих коровок. У видов животных и растений с большой продолжительностью жизни и малой плодовитостью численность популяции более устойчивая. У насекомых и мелких

растений на открытых пространствах она нередко составляет сотни тысяч и миллионы особей.

Популяция обладает не только биологическими свойствами составляющих ее организмов, но и собственными, присущими только группе особей в целом. Рождаемость, смертность, возрастная структура, плотность населения и другие свойства могут иметь смысл только на групповом уровне. Основными экологическими характеристиками популяции считаются:

- *величина* по занимаемому пространству и по численности особей;
- *структура* возрастная, половая, пространственная, экологическая и др.;
- динамика.

Имея дело с растениями, особенно культурными, целесообразно, а иногда и проще учитывать **биомассу**[1], а не число особей.

Минимальный размер для самовоспроизводства на протяжении разных поколений подразумевает численность, достаточную для выживания популяции при резких ее изменениях.

Под *численностью популяции* понимают эффективную величину численности, т. е. число размножающихся животных, которое всегда меньше общего числа особей, составляющих популяцию.

Группы многочисленных видов одомашненных или селекционно выведенных домашних животных и растений можно считать популяциями лишь с серьезными оговорками, ибо они всецело зависят от человека. Тем не менее при одичании домашние животные в природных условиях могут образовывать популяции.

4.1. Размер популяции (популяционные законы)

Численность популяции не произвольна даже при постоянной средней продолжительности жизни, а изменяется в пределах определенного диапазона. В соответствии с *прави-*

[1] Биомасса — это общее количество органического вещества всей совокупности тех или иных организмов с заключенной в нем энергией, выражаемое в единицах массы или энергии в пересчете на живое или сухое вещество, а также отнесенное к единице площади или объема.

4.2. Возрастная и половая структуры популяций

Средняя продолжительность жизни организмов и соотношение численности (или биомассы) особей различного возраста характеризуются возрастной, а соотношение особей разного пола — половой структурами популяции (рис. 4.1). Формирование возрастной структуры происходит в результате совместного действия процессов размножения и смертности.

Со временем даже в пределах одной и той же популяции могут происходить значительные изменения возрастной структуры. В таких случаях «включаются механизмы», автоматически возвращающие популяцию к некоторому нормальному для данной популяции возрастному распределению. Причем популяции, включающие в себя много возрастных групп, в меньшей степени подвержены воздействию факторов, влияющих на размножение в конкретном году.

Даже крайне неблагоприятные условия, вызывающие полную гибель приплода в тот или иной год, не становятся катастрофическими для популяции сложной структуры, так как родительские пары участвуют в воспроизводстве многократно. Тем не менее следы изменений условий жизни сохраняются в облике сложных популяций гораздо дольше, чем у простых.

Для роста численности популяций большое значение имеет соотношение особей по полу. Генетический механизм обеспечивает примерно равное соотношение особей разного пола при рождении. Однако исходное соотношение вскоре нарушается в результате различий физиологических, поведенческих и экологических реакций самцов и самок, вызывающих неравномерную смертность.



Рис. 4.1. Гистограмма распределения индивидуумов по возрастам в соответствии с полом для гипотетической популяции, имеющей высокую рождаемость и высокую смертность в ранних возрастных группах

Анализ возрастной и половой структуры популяции позволяет прогнозировать ее численность на ряд ближайших поколений и лет. Этим пользуются для оценки возможности промысла рыбы, в охотничьих хозяйствах и прочих подобных случаях.

лом максимума размера колебаний плотности популяционного населения Ю. Одума,

> существуют определенные верхние и нижние пределы для размеров плотности (численности) популяции, которые соблюдаются в природе или которые теоретически могли бы существовать в течение сколь угодно длительного отрезка времени в условиях стабильности среды обитания.

К. Фридерихсом (1927) была сформулирована *теория биоценотической регуляции численности популяции:*

> регулирование численности популяции есть результат комплекса воздействий абиотической и биотической среды в местообитании вида.

Размеры популяции возрастают в результате иммиграции из соседних популяций и (или) за счет размножения особей. Общая численность и плотность населения популяций регулируется *правилом максимальной рождаемости (воспроизводства):*

> в популяции имеется тенденция к образованию теоретически максимально возможного количества новых особей.

Максимальную рождаемость достигают в идеальных условиях, когда отсутствуют лимитирующие экологические факторы, и размножение ограничено лишь физиологическими особенностями вида. Обычно существует экологическая или реализуемая рождаемость, возникающая в обычных или специфических условиях среды.

С другой стороны, размеры популяции уменьшаются в результате эмиграции и (или) смертности. Таким образом,

ИЗМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ =
= (РОЖДАЕМОСТЬ + ИММИГРАЦИЯ) -
- (СМЕРТНОСТЬ + ЭМИГРАЦИЯ).

Для стабильных популяций справедливо утверждение, что в них «рождаемость уравновешена смертностью». Один из основных факторов, влияющих на размеры популяции, — это процент особей, погибающих до достижения половозрелого возраста.

4.3. Пространственная и этологическая структуры популяций

Пространственная структура. Каждая популяция занимает пространство, обеспечивающее условия жизни для ограниченного числа особей. При изучении пространственной структуры различают случайное, равномерное и неравномерное (групповое) распределения особей на территории (в пространстве).

Случайное распределение (рис. 4.2, *а)* в природе встречается редко; оно наблюдается в случаях, когда среда очень однородна, а организмы не стремятся объединиться в группы. Равномерное распределение (рис. *4.2,б)* бывает там, где между особями очень сильна конкуренция или существует антагонизм. Наиболее часто наблюдается неравномерное (групповое) распределение (рис. 4.2, в) — образование различных скоплений.

Активность особей, пар и семейных групп у позвоночных и высших беспозвоночных обычно ограничена определенной зоной, называемой индивидуальным (или семейным) участком территории. У высших животных внутрипопуляционное распределение регулируется системой инстинктов. Им свойственно особое территориальное поведение — реакция на местонахождение других членов популяции.

В зависимости от характера использования пространства подвижных животных подразделяют на оседлых и кочевых. Оседлые животные в течение всей или большей части жизни используют довольно ограниченный участок среды. Им присущи инстинкты привязанности к своему участку, регулярное возвращение к месту размножения после длительных и дальних миграций.

Кочевые животные совершают постоянные передвижения в пространстве, так как они зависят от запаса корма на данной территории. Кочевой образ жизни характерен преимуществен-

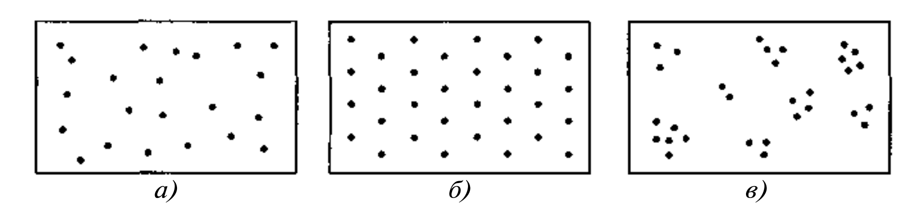


Рис. 4.2. Основные типы распределения особей популяции по территории по Ю. Одуму

но для стад и стай (кочующие группы многих рыб во время нагульных миграций, стада слонов, зебр, антилоп, северных оленей и т. п.)- Перемещение кочующих видов по площади обычно происходит за сроки, достаточные для восстановления кормовых ресурсов на пастбищных участках. Масштабы и длительность таких миграций определяют обилие пищи и численность стада.

Этологическая (поведенческая) структура. Она отражает разнообразные формы совместного существования особей в популяциях. Одиночный образ жизни следует выделить в первую очередь, хотя полностью одиночного существования организмов в природе нет, так как в этом случае было бы невозможно размножение. Семейный образ жизни — усиливаются связи между родителями и потомством, начинает заметно проявляться территориальное поведение животных. Путем различных сигналов, маркировки, угроз и тому подобного обеспечивается владение участком, достаточным для выкармливания потомства.

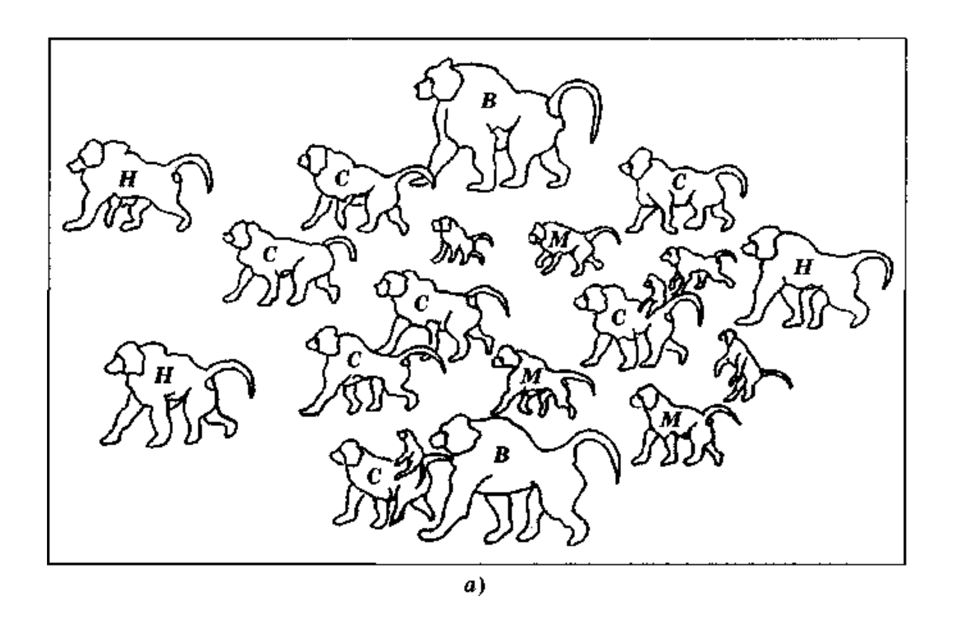
Стая — временное объединение животных, проявляющих биологически полезную организованность действий (для защиты от врагов, добычи пищи, миграции и т. п.). Наиболее широко стайность распространена среди рыб и птиц, хотя встречается и у млекопитающих (например, у собак).

Стадо — длительное или постоянное объединение животных, в котором осуществляются все основные функции жизни вида: добывание корма, защита от хищников, миграция, размножение, воспитание молодняка.

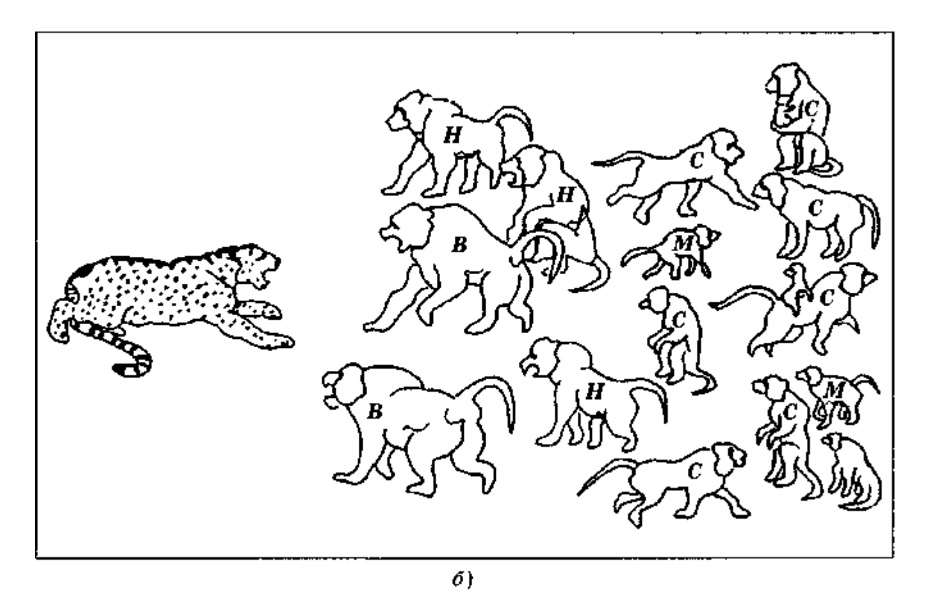
Основу группового поведения в стадах составляют взаимоотношения доминирования. Характерно наличие временного или относительно постоянного лидера, которому подражают особи стада.

Активное руководство стадом (специальные сигналы или угрозы) осуществляют вожаки. Иерархически организованному стаду свойственен закономерный порядок перемещения, определенные позиции при защите от врагов, расположение на местах отдыха и др. (рис. 4.3).

Колония — это групповое поселение оседлых животных на длительное время или на период размножения. По сложности взаимоотношений между особями колонии очень разнообразны, наиболее сложные отношения складываются в поселениях для общественных насекомых (термитов, муравьев, пчел, ос и др.), возникающие на основе сильно разросшейся семьи. Члены колоний постоянно обмениваются информацией друг с другом.



а)



б)

Рис. 4.3. Походный порядок стада павианов: *а* — в пути; *б* — при нападении хищника (по Ф. *П. Фуэнтэ); В* — вожаки; *Н* — самцы низкого ранга; С — самки; *М* — молодняк

4.4. Динамика популяций

Динамика популяций — это процессы изменения ее основных биологических показателей (численности, биомассы, структуры) во времени в зависимости от экологических факторов. Жизнь популяции проявляется в ее динамике — одном из наиболее значимых биологических и экологических явлений.

4.4.1. Кривые выживания

Кривая выживания представляет собой график зависимости от времени числа выживших на данный момент особей для некоторой начальной группы новорожденных. Каждому биологическому виду свойственна своя характерная кривая выживания. При построении графика по оси абсцисс откладывают относительный возраст, а по оси ординат — абсолютное число выживших особей или их процент от исходного числа:



$$\frac{\text{Число выживших}}{\text{Численность исходной популяции}} \times 100\%.$$

Типичные примеры представлены на рис. 4.4.

Все животные и растения подвержены старению, которое проявляется в снижении жизненной активности с возрастом после периода зрелости. Непосредственные причины смерти могут быть разными, но в основе их лежит уменьшение сопротивляемости организма к неблагоприятным факторам, например болезням.

Кривая *1* на рис. 4.4 близка к идеальной кривой выживания для популяции, в которой старение — главный фактор, влияющий на смертность. Так, в современной развитой стране с высоким уровнем медицинского обслуживания и рациональным питанием большинство людей доживает до старости, но среднюю ожидаемую продолжительность жизни почти невозможно увеличить более чем до 75 лет. Поскольку даже в наиболее высокоразвитых странах детская смертность выше средней, она изображается начальным участком *а,* а наличие долгожителей — конечным участком *б* (кривая *1).* Кроме того, на кривую выживания влияет фактор «случайной гибели», причины которой с возрастом могут меняться. Например, в Анг-

лии наибольшая смертность в результате автомобильных аварий приходится на возраст 20—25 лет.

Закономерность, аналогичная кривой *1,* свойственна и однолетним растениям, например злаковым, ибо на поле все растения одного вида стареют одновременно.

Кривая *3* иллюстрирует изменения в популяции, у которой смертность относительно постоянна в течение всей жизни организмов (например, 50% за определенное время). Причиной смерти преимущественно служит случай, и особи гибнут до начала заметного старения. Кривая, подобная этой, была получена, например, для «популяции» стеклянных (легко бьющихся) стаканов в кафетерии. В природе к таким видам относятся, например, устрицы, дающие огромное потомство, а также растения, размножающиеся благодаря рассеиванию большого числа семян. Большая или меньшая смертность среди молодых особей приводит к изменению крутизны опускания начальной части кривой *3.*



Рис. 4.4. Кривые выживания: ***1*** **— человек или крупные млекопитающие;** ***2*** **— гидра или чернохвостый олень;** ***3*** **— устрица или рыба**

К промежуточному типу относят кривые выживания таких видов, для которых смертность мало меняется с возрастом. В природе существует много видов птиц, ящериц, мелких млекопитающих и других организмов, имеющих кривые выживания *2,* которые отличаются от прямолинейной диагонали некоторой выпуклостью (вогнутостью) или волнообразностью.

Форма кривой выживания часто меняется при изменении плотности популяции. С увеличением плотности кривая становится более вогнутой, т. е. при увеличении численности организмов их смертность возрастает.

Существуют также внутривидовые различия в кривых выживания. Причины могут быть разные и нередко связаны с полом. Так, женщины живут дольше мужчин, хотя причины этого точно не известны.

4.4.2. Рост популяции и кривые роста

Если при незначительной эмиграции и иммиграции рождаемость превышает смертность, то популяция будет расти. Рост популяции является непрерывным процессом, если в ней существуют все возрастные группы. Скорость роста популяции при отсутствии каких-либо экологических ограничений описывает дифференциальное уравнение:

$$dN/dx = rN, \tag{4.1}$$

где N — численность особей в популяции; т — время; *г* — константа скорости естественного прироста.

«/-образная модель роста популяции. Если *г* > 0, то со временем численность популяции становится больше. Рост происходит сначала медленно, а затем стремительно увеличивается по экспоненциальному закону, т. е. кривая роста популяции принимает J-образный вид (рис. 4.5, *а). Такая модель основывается на допущении, что рост популяции не зависит от ее плотности.* Считают, что почти любой вид теоретически способен увеличить свою численность до заселения всей Земли при достатке пищи, воды, пространства, постоянстве условий среды и отсутствии хищников. Эта идея была выдвинута еще на рубеже XVIII и XIX вв. английским экономистом Томасом Р. Мальтусом, основоположником теории мальтузианства.

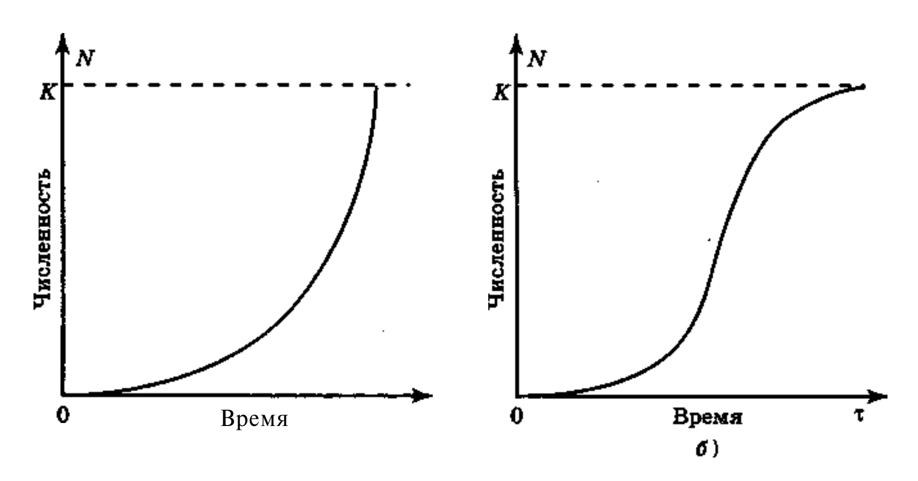


Рис. 4.5. Типы кривых роста численности популяции (модели роста популяции): *а* — J-образная; *б* — S-образная; *К* — поддерживающая емкость среды

S-образная модель роста популяции. Иное развитие получает ситуация при ограниченности пищевых ресурсов либо при скоплении токсичных продуктов (отходов) метаболизма. Первоначальный экспоненциальный рост в исходных благоприятных условиях со временем продолжаться не может и постепенно замедляется. *Плотность популяции* регулирует истощение пищевых ресурсов, накопление токсикантов и поэтому влияет на рост численности. С увеличением плотности скорость роста популяции постепенно снижается до нуля, и кривая выходит на некоторый стабильный уровень (график образует плато). Кривая такого роста (рис. 4.5, *б)* имеет S-образную форму, и поэтому соответствующая модель развития событий называется *S-образной.* Она характерна, например, для дрожжей, фактором, ограничивающим их рост, является накопление спирта, а также для водорослей, самозатеняющих друг друга. В обоих случаях численность популяции не достигает уровня, на котором начинает сказываться нехватка элементов питания (биогенов).

На рост численности, в которой значительную (возможно, даже главную) роль играет пространство, также влияет *перенаселенность.* Лабораторные опыты с крысами показали, что по достижении определенной плотности популяции плодовитость животных резко снижается даже при избытке пищи. Возникают гормональные сдвиги, влияющие на половое поведение; чаще встречается бесплодие, поедание детенышей родителями и т. п. Резко ослабевает родительская забота о потомстве, детеныши раньше покидают гнездо, в результате чего снижается вероятность их выживания. Усиливается агрессивность животных. Подобные явления встречаются также в популяциях ряда млекопитающих, причем не только в лабораторных, но и природных условиях.

Скорость роста численности в S-образной модели определяет дифференциальное уравнение

$$dN/dx = гЩ1 - N/K), \quad (4.2)$$

где K — поддерживающая емкость среды, т. е. максимальный размер популяции, которая может существовать в данных условиях, удовлетворяя свои потребности неопределенно долго.

Если $N > K$, скорость роста отрицательна. Если $N < K$, скорость роста положительна и величина популяции N стремится *к K, т. е.* приводится в соответствие с поддерживающей емкостью среды. Если $N = K$, скорость роста популяции равна нулю. При нулевом росте популяция стабильна, т. е. ее разме-

ры не меняются, хотя отдельные организмы по-прежнему растут, размножаются и отмирают. Происходящее размножение уравновешивается смертностью.

В специализированной литературе *J*- и S-образные модели роста численности часто называют соответственно *экспоненциальной* и *логистической.*

Поддерживающая емкость играет решающую роль не только при росте популяции по S-образной, но также и по J-образной модели, ибо в некоторый момент времени все же наступает исчерпание какого-либо ресурса среды, т. е. он (или даже несколько одновременно) становится лимитирующим. Развитие дальнейших событий показано на рис. 4.6, *а, б.* После бума с внезапным выходом J-образной кривой за пределы уровня *K* происходит крах популяции[1], т. е. катастрофа, приводящая к резкому снижению численности. Причиной краха часто бывает внезапное резкое изменение условий окружающей среды (экологических факторов), понижающее поддерживающую емкость среды. Тогда огромное число особей, не способных эмигрировать, погибает.

При наиболее благоприятном для популяции стечении обстоятельств новый уровень численности соответствует поддерживающей емкости среды или, иначе говоря, кривая роста превращается из J-образной в S-образную (рис. 4.6, *б).* Однако

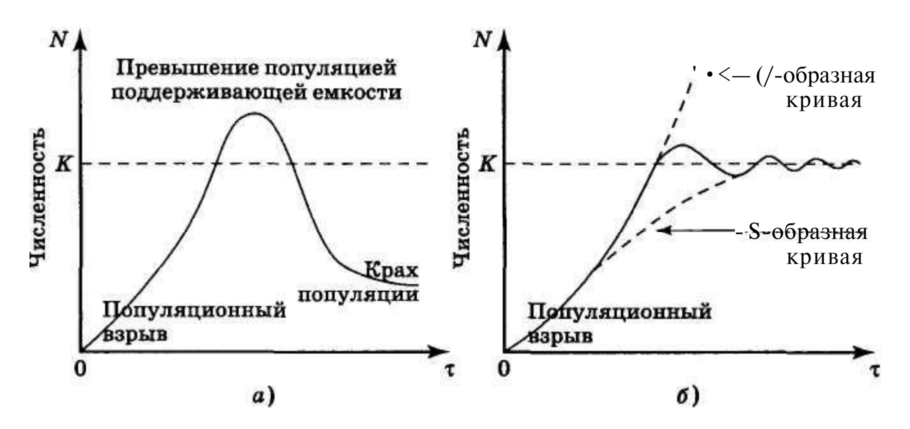


Рис. 4.6. Варианты завершения роста популяции по J-образной модели: *а* — для дафнии на питательной среде; *б* — преобразование в S-образный вид

[1] Поэтому в иностранной литературе J-образная модель называется моделью типа «бум — крах».

исчерпание пищевых ресурсов может привести также к появлению и других трудностей для популяции, например к развитию болезней. Тогда численность снижается до уровня значительно более низкого, чем поддерживающая емкость среды (рис. 4.6, а), а в пределе популяция может даже быть обречена на вымирание.

Для S-образной модели в случаях отставания действия регулирующих механизмов по каким-либо причинам, например, в связи с затратами времени на воспроизводство или по иным причинам временное запаздывание учитывает дифференциальное уравнение

$$N/dz = rNK\text{-}rN^2(\text{-}z\text{-}T)/K, \quad (4.3)$$

где T — время, необходимое системе для реакции на внешнее воздействие.

Вычитаемое в правой части уравнения, содержащее N^2, позволяет предсказать момент выхода системы из состояния равновесия в случаях, когда время запаздывания относительно велико по сравнению с временем релаксации (1/г) системы. В итоге при увеличении в системе времени запаздывания вместо асимптотического приближения к состоянию равновесия происходит колебание численности организмов относительно теоретической S-образной кривой. В случаях, когда пищевые ресурсы ограничены, популяция не достигает устойчивого равновесия, ибо численность одного поколения зависит от численности другого, что отражается на скорости репродукции и приводит к хищничеству и каннибализму. Колебания численности популяции, для которой характерны большие значения *г*, малое время воспроизводства т и несложный регулирующий механизм, могут быть весьма значительными.

Описанные модели роста популяции и дифференциальные уравнения предполагают, что все организмы сходны между собой, имеют равную вероятность погибнуть и равную способность к размножению, так что скорость роста популяции в экспоненциальной фазе зависит только от ее численности и не ограничена условиями среды, которые остаются постоянными. Они точно описывают процессы роста и взаимодействия особей в большинстве искусственных и некоторых естественных популяциях. «Идеальность» всех экологических факторов в исходных условиях предопределила то, что рассматриваемые модели называют *идеальными.*

Для природных популяций принятые допущения чаще всего неверны. В естественных условиях *J*- и S-образные моде-

ли роста популяции преимущественно можно наблюдать в случаях, когда тех или иных животных вселяют или они сами распространяются в новые для них районы. Тем не менее теоретические модели роста позволяют лучше понять процессы, происходящие в естественных условиях. Большинство принципов, используемых для моделирования популяций животных, применимо также и для моделирования популяций растений.

Следует отметить, что при любой модели (как *J*-, так и S-образной) вначале характерна фаза экспоненциального роста численности популяции (рис. 4.5, 4.6, *б*). Поэтому при сочетании благоприятных (оптимальных) значений всех факторов среды возникает «популяционный взрыв», т. е. особо быстрый рост популяции того или иного вида.

Миграция или расселение, так же как и внезапное снижение скорости размножения, могут способствовать уменьшению численности популяции. Расселение может быть связано с определенной стадией жизненного цикла, например с образованием семян.

Применительно к условиям реальной природной среды принято использовать понятия **биотический потенциал** — совокупность всех экологических факторов, способствующих увеличению численности популяции, или видовая способность к размножению при отсутствии ограничений со стороны среды, а также **сопротивление среды** — сочетание факторов, ограничивающих рост (лимитирующих факторов).

Любые изменения популяции есть результат нарушения равновесия между ее биотическим потенциалом и сопротивлением окружающей среды.

4.4.3. Колебания численности популяции

По достижении заключительной фазы роста размеры популяции продолжают колебаться от поколения к поколению вокруг некоторой более или менее постоянной величины. При этом численность одних видов изменяется нерегулярно с большой амплитудой колебаний (насекомые-вредители, сорняки), колебания численности других (например, мелких млекопитающих) имеют относительно постоянный период, а в популяциях третьих видов численность колеблется от года к году незначительно (долгоживущие крупные позвоночные и древесные растения).

В природе в основном встречаются три вида кривых изменения численности популяции: относительно стабильный, скачкообразный и циклический (рис. 4.7).

Виды, у которых численность из года в год находится на уровне поддерживающей емкости среды, имеют достаточно *стабильные популяции* (кривая *1*). Такое постоянство характерно для многих видов дикой природы и встречается, например, в нетронутых тропических влажных лесах, где среднегодовое количество осадков и температура изменяются день ото дня и из года в год крайне мало.

У других видов колебания численности популяций носят правильный *циклический* характер (кривая *2*). Хорошо знакомы примеры сезонных колебаний численности. Тучи комаров; поля, заросшие цветами; леса, полные птиц, — все это характерно для теплого времени года в средней полосе и сходит практически на нет зимой.

Широко известен пример циклических колебаний численности леммингов (северных травоядных мышевидных грызунов) в Северной Америке и Скандинавии. Раз в четыре года плотность их популяций становится столь высокой, что они начинают мигрировать со своих перенаселенных местообитаний; при этом массово гибнут в фиордах и тонут в реках, что до настоящего времени не имеет достаточного объяснения. Еще с глубокой древности известны циклические нашествия странствующей африканской саранчи на Евразию.

Ряд видов, таких, как енот, в основном имеют достаточно стабильные популяции, однако время от времени их числен-

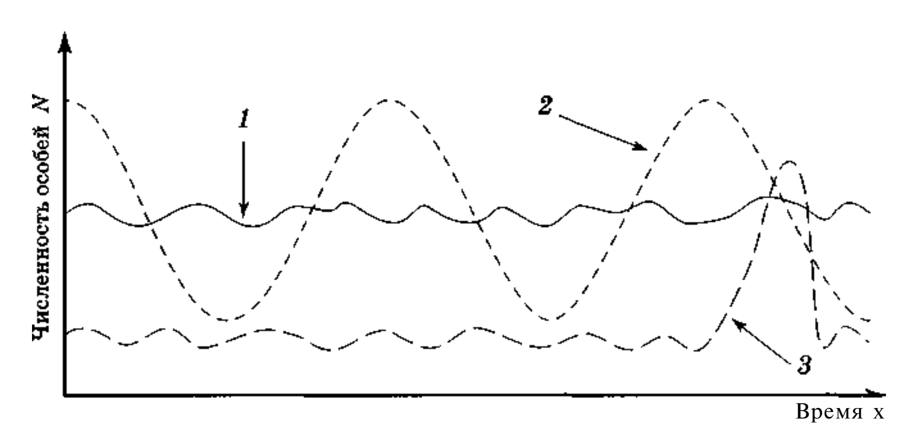


Рис. 4.7. Основные кривые изменения численности популяций различных видов: *1* — стабильный; *2* — цикличный; *3* — скачкообразный

ность резко возрастает (подскакивает) до наивысшего значения, а затем резко падает до некоторого низкого, но относительно стабильного уровня. Эти виды относят к популяциям со *скачкообразным ростом численности* (кривая 3).

Внезапное увеличение численности происходит при временном повышении емкости среды для данной популяции и может быть связано с улучшением климатических условий (факторов) и питания или резким уменьшением численности хищников (включая охотников). После превышения новой, более высокой емкости среды в популяции возрастает смертность и ее размеры резко сокращаются.

На протяжении истории в разных странах не раз наблюдались случаи краха популяций человека, например, в Ирландии в 1845 г., когда в результате заражения грибком погиб весь урожай картофеля. Поскольку рацион питания ирландцев сильно зависел от картофеля, к 1900 г. половина восьмимиллионного населения Ирландии умерла от голода или эмигрировала в другие страны.

Тем не менее численность человечества на Земле в целом и во многих регионах в частности продолжает расти. Люди

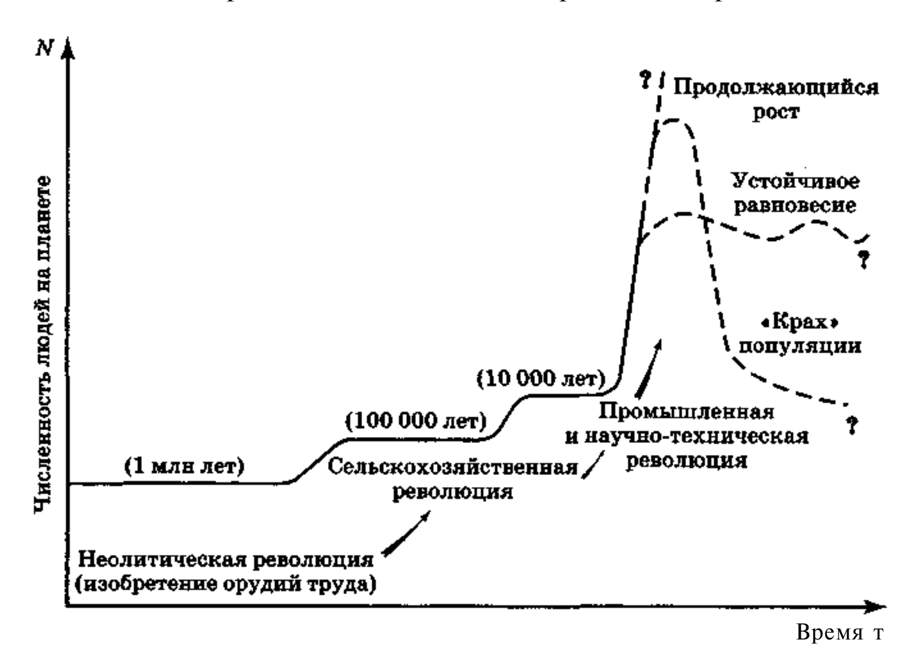


Рис. 4.8. Увеличение поддерживающей емкости среды для популяции человека (по *Т. Миллеру),* масштаб по осям условный

путем технологических, социальных и культурных перемен неоднократно увеличивали для себя поддерживающую емкость планеты (рис. 4.8). По сути, они смогли изменить свою экологическую нишу за счет увеличения производства продуктов питания, борьбы с болезнями и использования больших количеств энергетических и материальных ресурсов, чтобы сделать обычно непригодные для жизни районы Земли обитаемыми.

В правой части рис. 4.8 приведены возможные сценарии дальнейшего изменения фактической численности людей на планете в случае превышения поддерживающей емкости биосферы.

4.5. Популяции синантропных видов

В предыдущих разделах рассмотрены природные популяции, находящиеся в естественных местообитаниях. Однако вследствие хозяйственной деятельности человека образуются природно-антропогенные популяции, тесно связанные, например, с сельским хозяйством. Многие насекомые, мышевидные грызуны и прочие виды находят здесь экологическую нишу, адаптируя свою структуру и динамику численности к той или иной системе хозяйствования.

С эволюцией человеческого общества и образованием стабильных поселений также возникли *синантропные виды*, популяции которых обитают в жилищах и в местах скопления отходов жизнедеятельности людей. Они могут быть «вредителями», «паразитами», переносчиками возбудителей болезней, выступая в качестве опасных экологических (биотических) факторов для человека.

В пещеру древнего человека перешли на жительство многие насекомые, осваивая скопления различных отходов. Однако человечество постепенно развивало культуру быта и улучшало санитарно-гигиеническую обстановку в своих поселениях, одновременно создавая разнообразные методы уничтожения нежелательных «спутников». В то же время насекомых отпугивала сама обстановка города, с течением времени все больше отличавшаяся от привычной природной среды. В результате большинство насекомых отступило, но тараканы, комнатные мухи, некоторые виды муравьев и другие преодолели все биологические преграды и стали «хозяйничать» в городской и поселковой среде.

Мухи активны в квартирах днем, а ночью их сменяют тараканы — представители крупного одноименного отряда насекомых. Синантропные тараканы — теплолюбивые насекомые, происходящие из тропических лесов Южной Азии. В северных районах они живут только в отапливаемых помещениях. Понижение температуры ниже +5 °С для тараканов смертельно, поэтому их не бывает в дачных домиках в средней полосе России, а в природных условиях тараканы встречаются в Крыму, на юге Дальнего Востока и в южных районах Средней Азии. Но даже в теплом помещении они не будут жить при отсутствии источника воды.

Тараканы распространяются по городу или поселку чаще всего при перевозках продуктов или комнатных вещей, а в теплое время года могут переходить из дома в дом самостоятельно.

Вместе с мухами и тараканами в домах поселяются муравьи. В деревянных домах в сельской местности живут муравьи-древоточцы, обитающие и в окрестных лесах. В городах стал обычным мелкий рыжеватый муравей, в естественных условиях встречающийся только в тропиках.

Все комнатные насекомые, посещающие различные отбросы, переносят на теле возбудителей опасных заболеваний и создают антисанитарные условия для людей.

Контрольные вопросы и задания

4.1. Дайте определение популяции и ее свойств.
4.2. Почему элементарной частицей эволюции является популяция?
4.3. Сформулируйте правило Ю. Одума и теорию К. Фридерихса.
4.4. Каково место популяции на Земле?
4.5. Что отражают статистические показатели популяции?
4.6. Почему толерантность популяции к факторам среды значительно шире, чем у особи, и каково экологическое значение этого явления?
4.7. Каковы экологические причины, вызывающие рост численности популяций по экспоненте и логистической кривой?
4.8. В чем суть экологической стратегии выживания?
4.9. Какие экологические факторы вызывают саморегуляцию плотности популяции?
4.10. Что такое синантропные виды? Почему они являются «опасными» видами для человека?

ГЛАВА 5

ЭКОЛОГИЯ СООБЩЕСТВ (СИНЭКОЛОГИЯ)

Популяции разных видов в природных условиях объединяются в системы более высокого ранга — **сообщества** и **биоценоз**[1].

Термин «биоценоз» был предложен немецким зоологом К. Мебиусом и обозначает организованную группу популяций растений, животных и микроорганизмов, приспособленных к совместному обитанию в пределах определенного объема пространства.

Любой биоценоз занимает определенный участок абиотической среды. **Биотоп** — пространство с более или менее однородными условиями, заселенное тем или иным сообществом организмов.

Размеры биоценотических группировок организмов чрезвычайно разнообразны — от сообществ на стволе дерева или на болотной моховой кочке до биоценоза ковыльной степи. Биоценоз (сообщество) — не просто сумма образующих его видов, но и совокупность взаимодействий между ними. Экология со-

[1] Сообщество и биоценоз в строго научном смысле не являются синонимами. Биоценоз населяет строго определенный биотоп, а потому более или менее четко ограничен в пространстве. Он обязательно состоит из продуцентов, консументов и редуцентов. Сообщество — также система популяций видов, конкурирующих между собой и формирующих экологические ниши, но совершенно не обязательно состоящая из всех трех биотических экологических компонентов. Можно, например, выделить сообщества только растений, однако сказать «биоценоз растений» нельзя. Тем не менее в одних строго научных изданиях, например известных американских экологов, понятия «биотическое сообщество» и «биоценоз» совпадают как живая часть природной системы (экосистемы, гл. 6), в других же изданиях под термином «сообщество» понимают биоценоз, а для обозначения сообществ растений, насекомых и т. п. вводят термин «ассамблея».

обществ (синэкология)[1] — это также научный подход в экологии, в соответствии с которым прежде всего исследуют комплекс отношений и господствующие взаимосвязи в биоценозе. Синэкология занимается преимущественно биотическими экологическими факторами среды.

В пределах биоценоза различают **фитоценоз** — устойчивое сообщество растительных организмов, **зооценоз** — совокупность взаимосвязанных видов животных и **микробиоценоз** — сообщество микроорганизмов:

ФИТОЦЕНОЗ + **ЗООЦЕНОЗ** + **МИКРОБИОЦЕНОЗ** = **БИОЦЕНОЗ.**

При этом в чистом виде ни фитоценоз, ни зооценоз, ни микробиоценоз в природе не встречаются, как и биоценоз в отрыве от биотопа.

Биоценоз формируют межвидовые связи, обеспечивающие структуру биоценоза — численность особей, распределение их в пространстве, видовой состав и тому подобное, а также структуру пищевой сети, продуктивность и биомассу. Для оценки роли отдельного вида в видовой структуре биоценоза используют обилие вида — показатель, равный числу особей на единицу площади или объема занимаемого пространства.

5.1. Трофическая структура биоценозов

Важнейший вид взаимоотношений между организмами в биоценозе, фактически формирующими его структуру, — это пищевые связи хищника и жертвы: одни — поедающие, другие — поедаемые. При этом все организмы, живые и мертвые, являются пищей для других организмов: заяц ест траву, лиса и волк охотятся на зайцев, хищные птицы (ястребы, орлы и т. п.) способны утащить и съесть как лисенка, так и волчонка. Погибшие растения, зайцы, лисы, волки, птицы становятся пищей для детритофагов (редуцентов или иначе деструкторов).

5.1.1. Пищевые цепи и сети

Пищевая цепь — это последовательность организмов, в которой каждый из них съедает или разлагает другой. Она представляет собой путь движущегося через живые организмы

[1] Термин «синэкология» предложен в 1902 г. швейцарским ботаником К. Шретером. Синэкология формально выделена как раздел экологии на Международном ботаническом конгрессе в 1910 г.

однонаправленного потока поглощенной при фотосинтезе малой части высокоэффективной солнечной энергии, поступившей на Землю. В конечном итоге эта цепь возвращается в окружающую природную среду в виде низкоэффективной тепловой энергии. По ней также движутся питательные вещества от продуцентов к консументам и далее к редуцентам, а затем обратно к продуцентам.

Каждое звено пищевой цепи называют *трофическим уровнем.* Первый трофический уровень занимают автотрофы, иначе именуемые первичными продуцентами. Организмы второго трофического уровня называют первичными консументами, третьего — вторичными консументами и т. д. Обычно бывают четыре или пять трофических уровней и редко более шести (рис. 5.1).

Существуют два главных типа пищевых цепей — пастбищные (или «выедания») и детритные (или «разложения»).

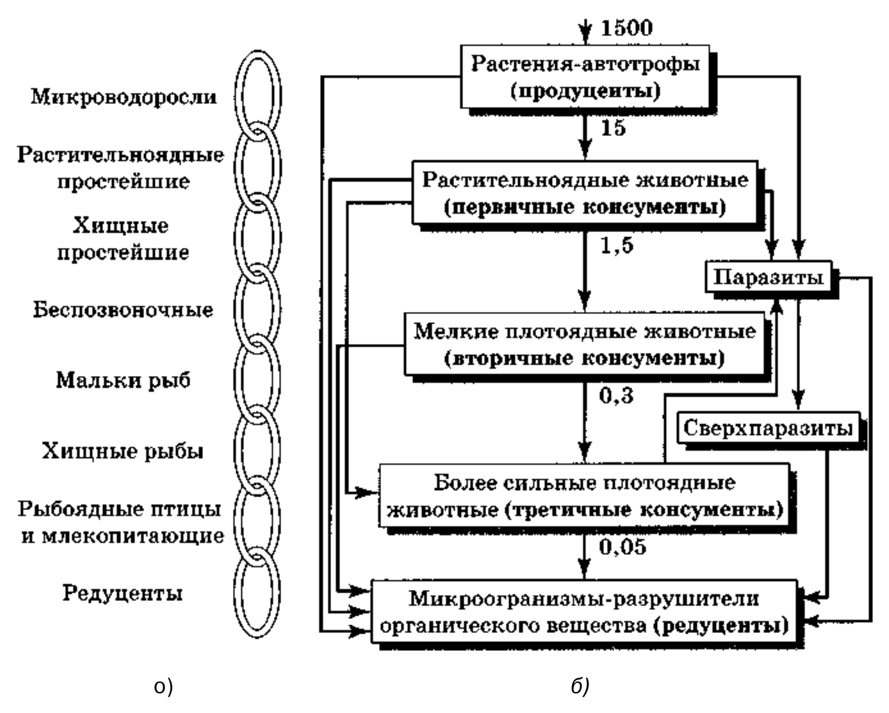


Рис. 5.1. Пищевые цепи биоценоза по Н. Ф. Реймерсу: обобщенная (а) и реальная *(б).* Стрелками показано направление перемещения энергии, а цифрами — относительное количество энергии, приходящей на трофический уровень

В *пастбищных пищевых цепях* первый трофический уровень занимают зеленые растения, второй — пастбищные животные (термин «пастбищные» охватывает все организмы, питающиеся растениями), а третий — хищники. Так, пастбищными пищевыми цепями являются:

РАСТИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ (например, нектар) => МУХА =>
=> ПАУК => ЗЕМЛЕРОЙКА => СОВА

СОК РОЗОВОГО КУСТА => ТЛЯ => БОЖЬЯ КОРОВКА =>
^ ПАУК => НАСЕКОМОЯДНАЯ ПТИЦА => ХИЩНАЯ
ПТИЦА.

Детритная пищевая цепь начинается с детрита по схеме:

ДЕТРИТ -• ДЕТРИТОФАГ -> ХИЩНИК

Характерными детритными пищевыми цепями являются:

ЛИСТОВАЯ ПОДСТИЛКА ЛЕСА => ДОЖДЕВОЙ ЧЕРВЬ =>
=> ЧЕРНЫЙ ДРОЗД => ЯСТРЕБ-ПЕРЕПЕЛЯТНИК

МЕРТВОЕ ЖИВОТНОЕ => ЛИЧИНКИ ПАДАЛЬНОЙ МУХИ =>
=> ТРАВЯНАЯ ЛЯГУШКА => ОБЫКНОВЕННЫЙ УЖ.

Концепция пищевых цепей позволяет в дальнейшем проследить круговорот химических элементов в природе, хотя простые пищевые цепи, подобные изображенным ранее, где каждый организм представлен как питающийся организмами только какого-то одного типа, в природе встречаются редко. Реальные пищевые связи намного сложнее, ибо животное может питаться организмами разных типов, входящих в одну и ту же пищевую цепь или в различные цепи, что особенно характерно для хищников (консументов) высших трофических уровней. Связь между пастбищной и детритной пищевыми цепями иллюстрирует предложенная Ю. Одумом модель потока энергии (рис. 5.2).

Всеядные животные (в частности, человек) питаются и консументами, и продуцентами. Таким образом, в природе пищевые цепи переплетаются, образуют пищевые (трофические) сети.

5.1.2. Экологические пирамиды

Для наглядности представления взаимоотношений между организмами различных видов в биоценозе принято использовать экологические пирамиды, различая пирамиды численности, биомасс и энергии.

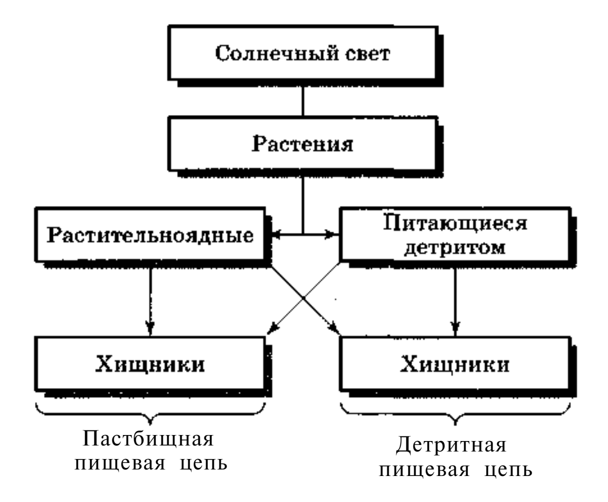


Рис. 5.2. Схема пастбищной и детритнои пищевых цепей (по *Ю. Одуму)*

5.1.2.1. Пирамида численности

Для построения пирамиды численности подсчитывают число организмов на некоторой территории, группируя их по трофическим уровням:

- продуценты — зеленые растения;
- первичные консументы — травоядные животные;
- вторичные консументы — плотоядные животные;
- третичные консументы — плотоядные животные;
- га-е консументы («конечные хищники») — плотоядные животные;
- редуценты — деструкторы.

Консументы второго, третьего и более высоких порядков могут быть хищниками (охотиться, схватывая и убивая

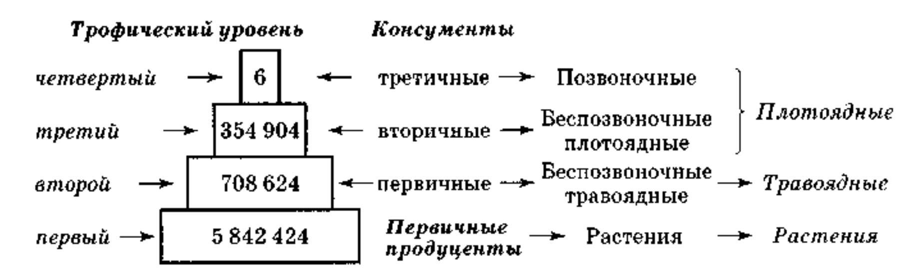


Рис. 5.3. Экологическая пирамида численности для луга, поросшего злаками: цифры — число особей

жертву), могут питаться падалью или быть паразитами. В последнем случае они по величине меньше своих хозяев, в результате чего пищевые цепи паразитов необычны по ряду параметров. В типичных пищевых цепях хищников плотоядные животные становятся крупнее на каждом трофическом уровне.



Рис. 5.4. Нарушенная (а) и перевернутая *(б)* пирамиды численности

Каждый уровень изображается условно в виде прямоугольника, длина или площадь которого соответствуют численному значению количества особей. Расположив эти прямоугольники в соподчиненной последовательности, получают экологическую пирамиду численности (рис. 5.3), основной принцип построения которой впервые сформулировал американский эколог Ч. Элтон.

Данные для пирамид численности получают достаточно легко путем прямого сбора образцов, однако существуют и некоторые трудности:

- продуценты сильно различаются по размерам, хотя один экземпляр злака или водоросли имеет одинаковый статус с одним деревом. Это порой нарушает правильную пирамидальную форму, иногда давая даже перевернутые пирамиды (рис. 5.4);
- диапазон численности различных видов настолько широк, что при графическом изображении затрудняет соблюдение масштаба, однако в таких случаях можно использовать логарифмическую шкалу.

5.1.2.2. Пирамида биомасс

Экологическую пирамиду биомасс строят аналогично пирамиде численности. Ее основное значение состоит в том, чтобы показывать количество живого вещества (биомассу — суммарную массу организмов) на каждом трофическом уровне. Это позволяет избежать неудобств, характерных для пирамид численности. В этом случае размер прямоугольников пропорционален массе живого вещества соответствующего уровня, отнесенной к единице площади или объема (рис. 5.5, *а, б)*. Термин «пирамида биомасс» возник в связи с тем, что в абсолютном большинстве случаев масса первичных консументов,

живущих за счет продуцентов, значительно меньше массы этих продуцентов, а масса вторичных консументов значительно меньше массы первичных консументов. Биомассу деструкторов принято показывать отдельно.

При отборе образцов определяют биомассу на корню или урожай на корню (т. е. в данный момент времени), которая не содержит никакой информации о скорости образования или потребления биомассы.

Плотоядные	11
Растительноядные	132
Продуценты	703
	а)
Зоопланктон	21
Фитопланктон	
	б)

Рис. 5.5. Пирамиды биомасс биоценозов кораллового рифа *(а)* и пролива Ла-Манш (б): цифры — биомасса в граммах сухого вещества, приходящегося на 1 м^2

Скорость создания органического вещества не определяет его суммарные запасы, т. е. общую биомассу всех организмов каждого трофического уровня. Поэтому при дальнейшем анализе могут возникнуть ошибки, если не учитывать следующее:

- во-первых, при равенстве скорости потребления биомассы (потеря из-за поедания) и скорости ее образования урожай на корню не свидетельствует о продуктивности, т. е. о количестве энергии и вещества, переходящих с одного трофического уровня на другой, более высокий, за некоторый период времени (например, за год). Так, на плодородном, интенсивно используемом пастбище урожай трав на корню может быть ниже, а продуктивность выше, чем на менее плодородном, но мало используемом для выпаса;
- во-вторых, продуцентам небольших размеров, например водорослям, свойственна высокая скорость роста и размножения, уравновешиваемая интенсивным потреблением их в пищу другими организмами и естественной гибелью. Поэтому продуктивность их может быть не меньше чем у крупных продуцентов (например, деревьев), хотя на корню биомасса может быть мала. Иными словами, фитопланктон с такой же продуктивностью, как у дерева, будет иметь намного меньшую биомассу, хотя мог бы поддерживать жизнь животных такой же массы.

Одним из следствий описанного являются «перевернутые пирамиды» (рис. 5.5, *б).* Зоопланктон биоценозов озер и морей

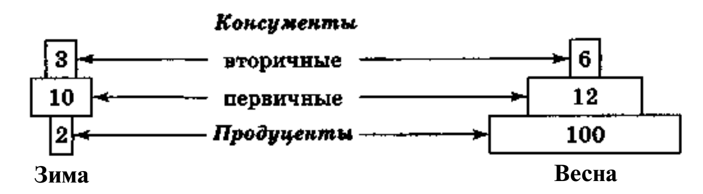


Рис. 5.6. Сезонные изменения в пирамидах биомассы озера (на примере одного из озер Италии): цифры — биомасса в граммах сухого вещества, приходящегося на 1 $м^3$

чаще всего обладает большей биомассой, чем его пища — фитопланктон, однако скорость размножения зеленых водорослей настолько велика, что в течение суток они восстанавливают всю съеденную зоопланктоном биомассу. Тем не менее в определенные периоды года (во время весеннего цветения) наблюдают обычное соотношение их биомасс (рис. 5.6).

Кажущихся аномалий лишены пирамиды энергий, рассматриваемые далее.

5.1.2.3. Пирамида энергий

Самым фундаментальным способом отражения связей между организмами разных трофических уровней и функциональной организации биоценозов является пирамида энергий, в которой размер прямоугольников пропорционален энергетическому эквиваленту в единицу времени, т. е. количеству энергии (на единицу площади или объема), прошедшей через определенный трофический уровень за принятый период (рис. 5.7). К основанию пирамиды энергии можно обоснованно добавить снизу еще один прямоугольник, отражающий поступление энергии Солнца.

Пирамида энергий отражает динамику прохождения массы пищи через пищевую (трофическую) цепь, что принципиально отличает ее от пирамид численности и биомасс, отражающих статику системы (количество организмов в данный

От хищников к конечным хищникам	88
От травоядных к хищникам	**1603**
От продуцентов к травоядным	**14 098**
Валовая продукция растений	**87110**

Рис. 5.7. Пирамида энергии: цифры — количество энергии, кДж · $м^{-2}$ · $г^{-1}$

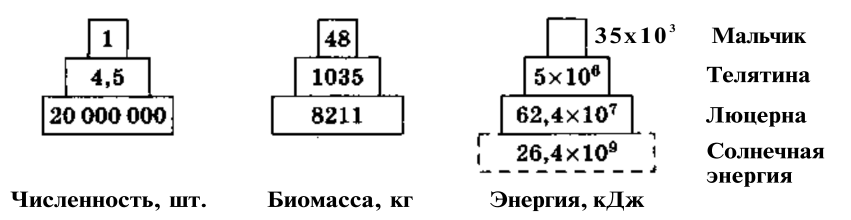


Рис. 5.8. Экологические пирамиды (по *Ю. Одуму).* Без соблюдения масштаба

момент). На форму этой пирамиды не влияют изменения размеров и интенсивности метаболизма особей. Если учтены все источники энергии, то пирамида всегда будет иметь типичный вид (в виде пирамиды вершиной вверх), согласно второму закону термодинамики.

Пирамиды энергий позволяют не только сравнивать различные биоценозы, но и выявлять относительную значимость популяций в пределах одного сообщества. Они являются наиболее полезными из трех типов экологических пирамид, однако получить данные для их построения труднее всего.

Одним из наиболее удачных и наглядных примеров классических экологических пирамид служат пирамиды, изображенные на рис. 5.8. Они иллюстрируют условный биоценоз, предложенный американским экологом Ю. Одумом. «Биоценоз» состоит из мальчика, питающегося только телятиной, и телят, которые едят исключительно люцерну.

5.1.3. Закономерности трофического оборота в биоценозе

Живые организмы для своего существования должны постоянно пополнять и расходовать энергию. В пищевой (трофической) цепи, сети и экологических пирамидах каждый последующий уровень, условно говоря, поедает предыдущее звено, используя его для построения своего тела. Трофоэнергетические связи сообщества растений и животных в виде упрощенной схемы потоков на примере биоценоза Рыбинского водохранилища приведены на рис. 5.9.

Главный источник энергии для всего живого на Земле — Солнце. Из всего спектра солнечного излучения, достигающего земной поверхности, только около 40% составляет фотосинтетически активная радиация (ФАР), имеющая длину волны

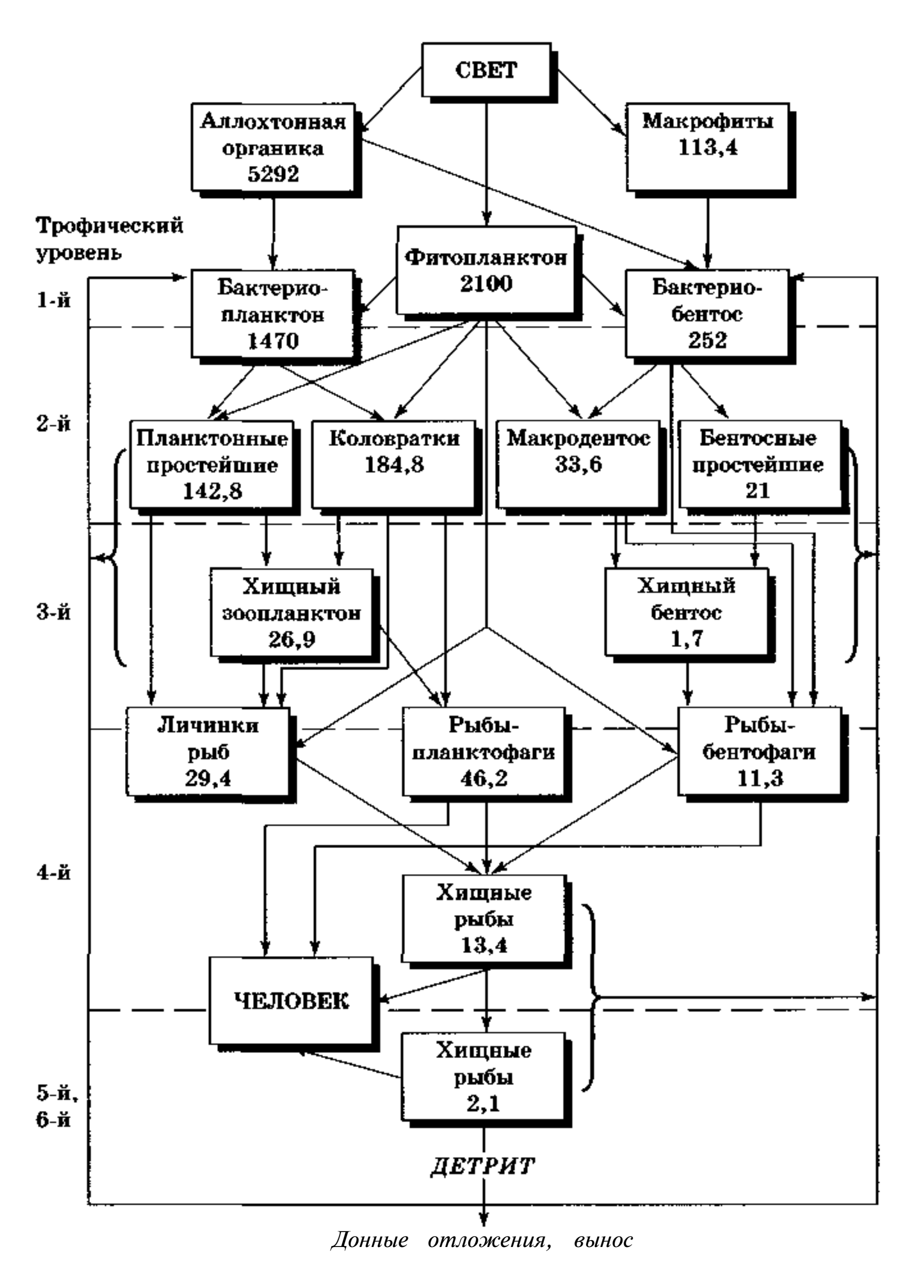


Рис. 5.9. Схема потоков энергии в трофической сети биоценоза (по *Н. В. Бутурину, А. Г. Поддубному):* цифры — годичная продукция популяций, кДж/м^2

380—710 нм. Растения в процессе фотосинтеза усваивают (химически связывают) лишь небольшую часть ФАР. Ниже приведены доли усваиваемой ФАР (в %) для различных экосистем.

Океан	до 1,2
Тропические леса	до 3,4
Плантации сахарного тростника и кукурузы (в оптимальных условиях)	3—5
Опытные системы с кондиционированными условиями среды по всем показателям (за короткие периоды времени)	8—10
В среднем растительность всей планеты	0,8—1,0

Первичными поставщиками энергии для всех других организмов в цепях питания являются растения. При дальнейших переходах энергии и вещества с одного трофического уровня на другой существуют определенные закономерности.

5.1.3.1. Правило десяти процентов

Р. Линдеман (1942) сформулировал *закон пирамиды энергий, или правило* 10%:

> с одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой, более высокий ее уровень (по «лестнице» продуцент — консумент — редуцент), в среднем около 10% энергии, поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды.

На самом деле потеря бывает либо несколько меньшей, либо несколько большей, но порядок чисел сохраняется.

Обратный поток, связанный с потреблением веществ и продуцируемым верхним уровнем экологической пирамиды энергии более низкими ее уровнями, например, от животных к растениям, намного слабее — не более 0,5% (и даже 0,25%) от общего ее потока, поэтому говорить о круговороте энергии в биоценозе не приходится.

5.1.3.2. Правило биологического усиления

Вместе с полезными веществами с одного трофического уровня на другой поступают и «вредные» вещества. Однако если полезное вещество при его излишке легко выводится из организма, то вредное не только плохо выводится, но и накапливает-

ся в пищевой цепи. Таков закон природы, называемый *правилом накопления токсических веществ (биотического усиления)* в пищевой цепи и справедливый для всех биоценозов.

Иначе говоря, если энергия при переходе на более высокий уровень экологической пирамиды десятикратно теряется, то накопление ряда веществ, в том числе токсичных и радиоактивных, примерно в такой же пропорции увеличивается, что впервые было обнаружено в 50-х годах на одном из заводов комиссией по атомной энергии в штате Вашингтон. Явление биотического накопления нагляднее всего демонстрируют устойчивые радионуклиды и пестициды. В водных биоценозах накопление многих токсичных веществ, в том числе хлорорганических пестицидов, коррелируется с массой жиров (липидов), т. е. явно имеет энергетическую подоснову.

В середине 60-х годов появилось, казалось бы, неожиданное сообщение о том, что пестицид дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) обнаружен в печени пингвинов в Антарктиде — месте, чрезвычайно удаленном от районов его возможного применения. От отравления ДДТ сильно страдают конечные хищники, особенно птицы, так, на востоке США полностью исчез сапсан. Птицы оказались наиболее уязвимы в связи с вызываемыми ДДТ гормональными изменениями, влияющими на обмен кальция. Это приводит к утончению скорлупы яиц, и они чаще разбиваются.

Биотическое накопление происходит очень стремительно, например, в случае с пестицидом ДДТ, попавшим в воду болот при многолетнем их опылении с целью сокращения численности нежелательных человеку насекомых на Лонг-Айленде. Для данного случая содержание ДДТ в ррт[1] (по Ю. Одуму) приведено ниже для следующих объектов:

вода	0,00005
планктон	0,04
планктоноядные организмы	0,23
щука (хищная рыба)	1,33
рыба-игла (хищная рыба)	2,07
цапля (питается мелкими животными)	3,57
крачка (питается мелкими животными)	3,91
серебристая чайка (падалыцик)	6,00
крохаль (птица, питается мелкой рыбой)	22,8
баклан (питается крупной рыбой)	26,4

[1] ppm *{parts per million)* — частиц на миллион, или млн$^{-1}$ — единица измерения концентрации. Для газов 1% (об.) = 10^4 млн$^{-1}$ = 10^4 ррт.

Специалисты по борьбе с насекомыми «благоразумно» не применяли такие концентрации, которые могли бы быть непосредственно детальны для рыб и других животных. Тем не менее со временем было установлено, что в тканях рыбоядных животных концентрация ДДТ почти в 500 тыс. раз выше, чем в воде. В среднем, как и в приведенном примере, концентрация вредного вещества в каждом последующем звене экологической пирамиды примерно в 10 раз выше, чем в предыдущем.

Принцип биотического усиления (накопления) должен быть принят во внимание при любых решениях, связанных с поступлением соответствующих загрязнений в природную среду. Следует учитывать, что скорость изменения концентрации может увеличиваться или уменьшаться под действием некоторых факторов. Так, человек получит меньше ДДТ, чем птица, питающаяся рыбой. Это частично объясняется удалением пестицидов при обработке и варке рыбы. Кроме того, рыба находится в более опасном положении, ибо получает ДДТ не только через пищу, но и непосредственно из воды.

5.2. Видовая структура биоценозов

Видовая структура — это количество видов, образующих биоценоз, и соотношение их численностей. Точные сведения о числе видов, входящих в тот или иной биоценоз, получить чрезвычайно трудно из-за микроорганизмов, практически не поддающихся учету.

Видовой состав и насыщенность биоценоза зависят от условий среды. На Земле существуют как резко обедненные сообщества полярных пустынь, так и богатейшие сообщества тропических лесов, коралловых рифов и т. п. Самыми богатыми по видовому разнообразию являются биоценозы влажных тропических лесов, в которых одних растений фитоценоза насчитываются сотни видов.

Виды, преобладающие по численности, массе и развитию, называют **доминантными** (от лат. *dominantis* — господствующий). Однако среди них выделяют **эдификаторы** (от лат. *edifikator* — строитель) — виды, которые своей жизнедеятельностью в наибольшей степени формируют среду обитания, предопределяя существование других организмов. Именно они порождают спектр разнообразия в биоценозе. Так, в еловом лесу доминирует ель, в смешанном — ель, береза и осина, в степи — ковыль и типчак. При этом ель в еловом лесу наряду с доми-

нантностью обладает сильными эдификаторными свойствами, выражающимися в способности затенять почву, создавать кислую среду своими корнями и образовывать специфические подзолистые почвы. Вследствие этого под пологом ели могут жить только тенелюбивые растения. Одновременно с этим в нижнем ярусе елового леса доминантой может быть, например, черника, но эдификатором она не является.

Предворяя обсуждение видовой структуры биоценоза, следует обратить внимание на принцип Л. Г. Раменского (1924) — Г. А. Глизона (1926) или **принцип континуума**[1]**:**

> широкое перекрытие экологических амплитуд и рассредоточенность центров распределения популяций вдоль градиента среды приводят к плавному переходу одного сообщества в другое, поэтому, как правило, не образуют строго фиксированные сообщества.

Принципу континуума Н. Ф. Реймерс противопоставляет *принцип биоценотической прерывности:*

> виды формируют экологически определенные системные совокупности — сообщества и биоценозы, отличающиеся от соседних, хотя и сравнительно постепенно в них переходящие.

5.2.1. Взаимоотношения между организмами

При изучении взаимоотношений между организмами прежде всего выделяют:

- внутривидовые взаимодействия между особями одного вида;
- межвидовую конкуренцию на данном трофическом уровне за необходимые ресурсы, например, пищу, свет и пространство;
- межвидовые взаимодействия популяций, находящихся на разных трофических уровнях, например, отношения типа «хищник — жертва» и «хозяин — паразит»;
- иные типы, более сложные, например симбиотические.

[1] Континуум — непрерывное единство, в биологии — представление о «пленке жизни» Земли как о непрерывном целом, не распадающемся на отдельные биологические системы.

5.2.1.1. Конкуренция

Конкуренция имеет место в тех случаях, когда взаимодействие между двумя или несколькими особями или популяциями неблагоприятно влияет на рост, выживаемость, приспособленность каждой особи и (или) величину каждой популяции. В основном это происходит при недостатке какого-либо необходимого им всем ресурса. Конкуренция может быть между особями одного вида (внутривидовая) или разных видов **(межвидовая),** причем и та и другая важны для сообщества. Считают, что конкуренция, особенно межвидовая, — главный механизм возникновения биоразнообразия.

Каждой популяции выгодно использовать любую возможность для защиты от конкуренции с другими видами. Естественный отбор помогает особям, занимающим недоступные для других участки в пространстве экологических ниш, и тем самым ведет к уменьшению перекрывания в потреблении ресурсов и увеличению разнообразия ниш. Таким образом, конкуренция влияет на величину реализованной ниши, которая в свою очередь является фактором, влияющим на видовое богатство биоценоза.

Внутривидовая конкуренция. Имеющиеся ресурсы потребляются особями вида неодинаково (рис. 5.10, *а).* Те особи, которые используют данный ресурс в краевых, но зато менее оспариваемых местах его градиента, обладают более высокой индивидуальной приспособленностью, чем особи, потребляющие ресурс в зоне его оптимума, где конкуренция особенно велика.

В период роста популяции первые особи используют оптимальные ресурсы. С увеличением ее плотности преимущества

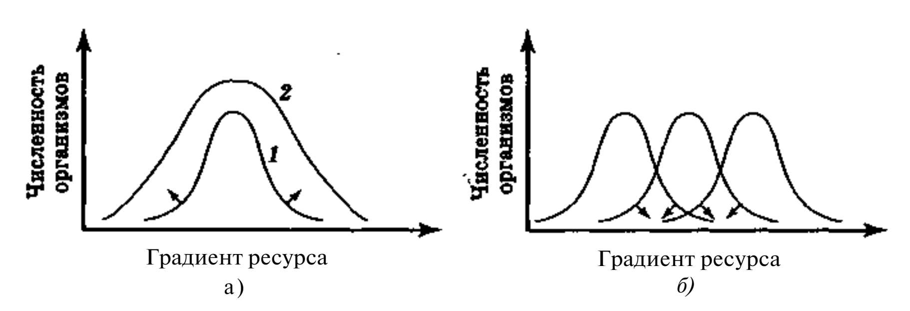


Рис. 5.10. Изменения ширины ниши при внутривидовой (а) и межвидовой (б) конкуренциях *(по П. Джиллеру): 1* — низкая плотность популяции; *2* — высокая плотность популяции. Стрелки — направление изменений

первых уменьшаются из-за внутривидовой конкуренции. Одновременно складываются благоприятные условия для «отклоняющихся» особей, использующих менее оспариваемый ресурс не в оптимальной зоне. Таким образом, увеличивается разнообразие ресурсов и местообитаний, освоенных данной популяцией в целом. Следовательно, внутривидовая конкуренция способствует расширению ниши и приближению реализованной ниши к фундаментальной (см. разд. 5.4). Однако понижение доступности самих ресурсов вызывает прямо противоположную реакцию.

Межвидовая конкуренция. Особи некоторого вида, потребляющие краевые ресурсы, не могут использовать их так же эффективно, как представители иных видов, для которых эти ресурсы оптимальны. Поэтому область перекрытия между нишами уменьшается так, что по мере специализации ниши становятся уже. В результате размеры популяции одного или нескольких конкурирующих видов также сокращаются (рис. 5.10, *б*). Конкуренция неблагоприятно воздействует на все виды, использующие один и тот же ограниченный ресурс, причем в одно и то же время и в одном и том же месте, что потенциально вызывает конкурентное исключение некоторых видов по принципу Г. Ф. Гаузе (рис. 5.11).

При совместном выращивании двух видов инфузорий в единой питательной среде вид *1* оказывается более конкурен-

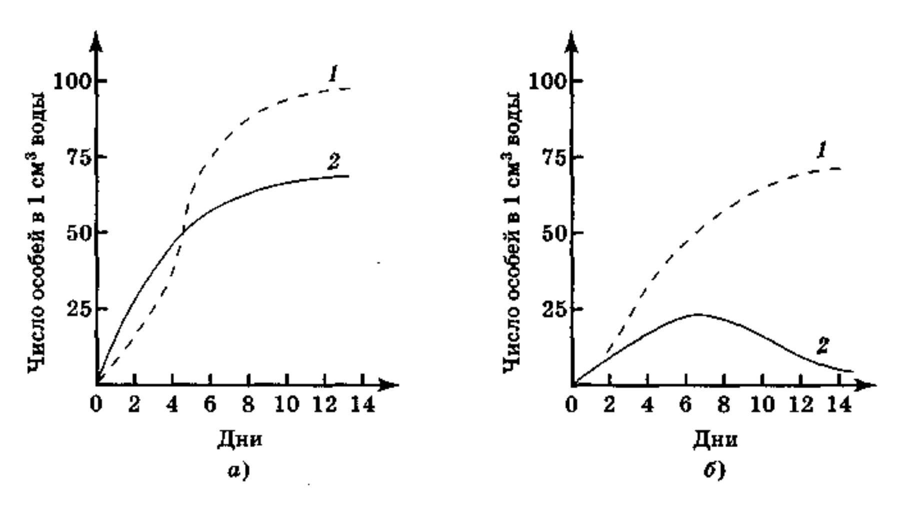


Рис. 5.11. Рост численности двух видов инфузорий в одной культуре (в опытах *Г. Гаузе*) (по *Ф. Дрэ*): *а* — при выращивании видов отдельно; *б* — при совместном выращивании в общей среде

тоспособным в захвате пищи, чем вид *2*. Через 5—6 сут численность вида *2* начинает уменьшаться, и спустя примерно 20 сут этот вид почти полностью исчезает, т. е. происходит его конкурентное исключение. Вид *1* достигает стационарной фазы роста позднее, чем при выращивании в отдельной культуре. Хотя этот вид и более конкурентоспособен, но на него также отрицательно влияет конкуренция.

В природных условиях менее конкурентоспособный вид редко исчезает полностью — просто его численность сильно уменьшается, однако иногда она может снова возрасти, прежде чем установится равновесное состояние. Принцип конкурентного исключения Г. Ф. Гаузе был в дальнейшем неоднократно подтвержден на животных. Таким образом, при возрастании видового разнообразия в результате межвидовой конкуренции имеет место большее разделение ниш и реализованные ниши взаимодействующих видов пропорционально сокращаются. При большой сходности видов происходит их конкурентное исключение.

5,2.1.2. Хищничество

Во многих существующих природных сообществах отмечается сильное перекрывание ниш потребления ресурсов, тем не менее не приводящее к конкурентному исключению видов, описанному ранее. Причиной этого может быть либо неограниченность ресурса (например, в наземных биоценозах никто не испытывает недостатка в кислороде), либо наличие какого-нибудь внешнего фактора, удерживающего численность потенциально конкурирующих популяций сосуществующих видов ниже уровня, допускаемого емкостью среды.

Важным механизмом создания структуры сообщества, альтернативным механизму разделения ресурсов путем конкуренции, является **хищничество.** Так, при значительной смертности в результате хищничества в популяции самого конкурентоспособного или многочисленного вида конкурентное исключение иных видов будет остановлено на неопределенно долгое время. При этом возможно более сильное перекрывание ниш и, следовательно, локальное увеличение видового разнообразия.

Хищничество — трудный и требующий большой затраты времени процесс. При активной охоте хищники нередко подвергаются опасностям не меньше, чем их жертвы. Многие хищники сами погибают в процессе межвидовой борьбы за до-

бычу, а также от голода. Известны случаи гибели львиц в ходе столкновения со слонами или кабанами. Только самые быстрые и сильные хищники способны затрачивать необходимое время в поисках добычи, преследовать жертву на большом расстоянии. Менее энергичные обречены на голодную смерть.

Хищничество воздействует на динамику и пространственное распределение популяции жертвы, что в свою очередь влияет на структуру и функции сообщества (биоценоза) вплоть до катастрофического их изменения. При этом в наземных системах полное уничтожение растений происходит редко и в основном бывает не избирательным (например, налет саранчи).

Большая часть фактов, подтверждающих теорию о роли хищничества, связана с взаимодействиями на трофическом уровне. Воздействия выпаса на урожай надземных частей растений не предсказуемы, но он может изменить конкурентное равновесие между поедаемым растением и другими видами. Выпас ведет также к уменьшению числа семян.

Поедание семян и плодов некоторыми первичными консументами ведет к изменениям или регулированию видового состава растительных сообществ. Эксперименты, в которых проводилось искусственное удаление отдельных видов, показали, что поедание семян муравьями или грызунами увеличивает видовое разнообразие в биоценозе пустыни.

Хищничество не всегда вызывает повышение разнообразия на нижних трофических уровнях. Хотя хищники могут понизить плотность популяции жертвы, это не обязательно уменьшает потребление ресурса — условие, необходимое для повышения видового разнообразия. В некоторых случаях ослабление внутривидовой конкуренции может активизировать вид и его размножение, что в свою очередь увеличит использование ресурса. Хищничество на одном трофическом уровне может привести к «каскадному» эффекту на других уровнях и вызвать снижение разнообразия в биоценозе в целом.

5.2.1.3. Сопряженные колебания численности хищника и жертвы

Как правило, хищник не может полностью истребить жертву. В большинстве случаев наблюдают сопряженные (согласованные между собой) колебания численности обеих популяций. В одном из наиболее известных и повторяемых в литературе примеров описывается цикл колебаний численности

зайца-беляка и рыси (рис. 5.12). При этом основным является вопрос, кто чью численность контролирует, хищник ли жертву, или наоборот.

Достоверно установлено, что популяции зайцев достигают пика численности через каждые 9 лет; вслед за этим численности популяций рыси также достигают пика. Однако затем численность популяций зайца резко сокращается. Первоначально эту закономерность объясняли тем, что рыси в определенный момент съедают слишком много пищи (зайцев), превышая поддерживающую емкость среды, что ведет к сокращению численности самой рыси, и весь цикл повторяется заново.

Позже в регионах, где рысь истреблена, была обнаружена точно такая же цикличность изменения численности зайцев. Таким образом, было установлено, что численность зайцев (пищевой ресурс) контролирует численность рыси, а не наоборот.

На основании изложенного можно сделать вывод, что главным механизмом, создающим структуру сообществ и биоценозов, служит конкуренция, а хищничество лишь регулирует видовое богатство в отдельных случаях. При этом, как следует из рис. 5.12, изменение численности хищника отстает от колебаний популяции жертвы, что относится в первую очередь к специализированным хищникам, которые не могут переключиться на другие виды пищи при снижении численности основного кормового вида (или переключаются в малой степени и с опозданием). И, напротив, обилие альтернативных кормов для хищника даже стабилизирует численность жертв. Вероятно, именно поэтому резкие вспышки численности не характерны для сложных биоценозов, например тропических лесов.

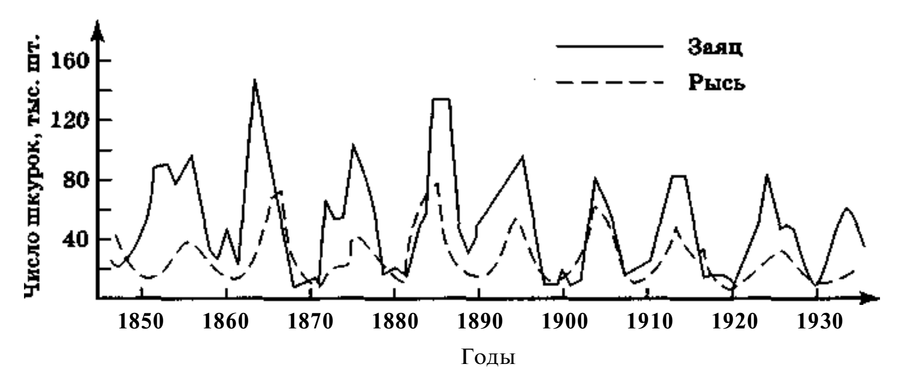


Рис. 5.12. Равновесие популяций в системе «хищник—жертва» на примере «рысь—заяц» по результатам наблюдений за количеством шкурок, добытых компанией Гудзонова залива (по *Мак-Луличу)*

Хотя крупные хищники вроде рыси чаще привлекают внимание исследователей, значительно более важными и многочисленными в этом отношении являются разнообразные паразиты. Все виды растений, животных, грибов и даже микробов могут быть поражены паразитами, роль которых сходна с ролью крупных хищников. С ростом численности популяции организма-хозяина паразиты и их переносчики (например, кровососущие комары) легко находят себе новые жертвы, что увеличивает смертность хозяев. При малой плотности последних распространение паразитов затруднено, число пораженных особей падает и численность вида-хозяина восстанавливается.

Паразиты не обязательно убивают хозяина, но обычно ослабляют его, делая более чувствительным к влиянию неблагоприятных условий и (или) хищничества. В большинстве случаев животные, пойманные хищниками, сильно поражены паразитами, а добытые охотниками — здоровы. В пищевой сети каждый организм обычно зависит от нескольких паразитов и хищников, т. е. речь обычно идет о равновесии между организмом и его естественными врагами.

Равновесие в системах хищник—жертва и паразит—хозяин не возникает автоматически, а устанавливается на протяжении длительного времени (много тысяч и даже миллионов лет). За такое время виды, взаимодействующие подобным образом, адаптируются друг к другу и к среде обитания так, что естественные враги не уничтожают полностью популяцию жертвы.

Важность эволюционного приспособления становится яснее при его отсутствии. При встрече организмов, развивавшихся в изоляции друг от друга, например на разных материках, их популяции не способны сосуществовать в равновесии. Так, интродуцированныи вид не всегда сталкивается на новом месте с естественными врагами, способными контролировать его численность. В результате численность индуцированной популяции стремительно вырастает, нанося исключительный ущерб местному биоценозу, включая вымирание отдельных видов. Классическими примерами таких случаев являются интродукция (завоз, переселение) кроликов[1] в Австралию и занос грибка, вызывающего рак коры каштана, в Северную Америку.

[1] В 1859 г. в Австралию для спортивной охоты завезли кроликов. Природные условия оказались для них благоприятными, а местные хищники — динго — не опасными, так как бегали недостаточно быстро. В итоге кролики расплодились настольло, что на обширных территориях уничтожили растительность пастбищ.

5.2.2. Влияние абиотических факторов среды

Поскольку ни конкуренция, ни хищничество в полной мере не объясняют все известные в живой природе случаи формирования видовой структуры биоценозов, учеными были предприняты попытки найти какой-либо другой механизм, обобщающий все варианты. Важным условием является степень суровости (или, напротив, благоприятности) физической среды обитания, т. е. совокупности абиотических факторов.

Установлено, что в очень суровых условиях среды численность популяций падает ниже тех уровней, при которых они конкурируют. На основании этого вывода и учитывая, что при наиболее благоприятных абиотических факторах плотность популяции уменьшается под действием хищников, Дж. Коннелл предложил схему, приведенную на рис. 5.13. В соответствии с ней в мягких условиях тропиков главное — устоять против растительноядных организмов, а с увеличением широты основным становится противодействие конкуренции.

Принцип действия законов минимума Ю. Либиха в масштабах сообществ и биоценозов установил А. Тинеман (1926) как *закон действия факторов:*

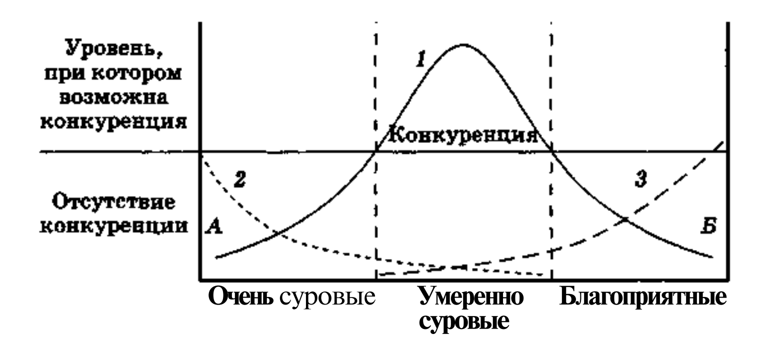


Рис. 5.13. Схема взаимодействия механизмов организации биоценоза (по *Дж. Коннеллу): 1* — численность популяции; *2* — смертность, вызванная неблагоприятными абиотическими факторами среды обитания; *3* — смертность, обусловленная хищничеством; *А* — популяции, численность которых ограничивается неблагоприятными физическими факторами среды; *Б* — популяции, численность которых ограничивается интенсивным хищничеством

состав сообщества и биоценоза по видам и численности особей в них определяется тем фактором среды, который находится в своем минимуме (наиболее неблагоприятен) для данного сообщества или биоценоза.

В 1939 г. он сформулировал известные биоценотические принципы:

принцип (правило) разнообразия условий биотопа:

чем разнообразнее условия жизни в рамках биотопа, тем больше число видов в заселяющем его биоценозе;

принцип отклонения условий существования от нормы:

чем больше отклонение условий существования от оптимума (нормы) в пределах биотопа, тем беднее видами становится заселяющий его биоценоз и тем относительно больше особей имеет каждый присутствующий вид.

Число особей внутри вида и число видов в биоценозе обратно пропорциональны. В этом можно легко убедиться, сравнивая биоценозы тундры и тропических лесов. Кроме того, в результате многочисленных исследований была определена биомасса ряда водных биоценозов, выраженная в килограмме сухой массы на 1 га морского дна:

Средиземное море	100
Белое море	200
Балтийское море	330
Пролив Ла-Манш	400
Баренцево море	1 000
Берингово море	1 650
Азовское море	3 210
Северное море	3 460
Антарктида	13 470

Из приведенных данных следует, что чем холоднее море, тем богаче жизнь.

В неблагоприятных условиях или условиях экологической монотонности число видов мало и межвидовая конкуренция снижается. Р. Крогерус (1932) констатировал эмпирическое *правило приспособления (специализации) к экстремальным условиям:*

в биотопах с экстремальными условиями складываются биоценозы из строго специализированных видов с относительно большим числом особей.

Наиболее общей закономерностью распространения сообществ признано правило А *Уоллеса* (1859):

> видовое разнообразие увеличивается по мере продвижения с севера на юг.

Причины этого многообразны, в частности, северные биоценозы исторически моложе и находятся в условиях меньшего поступления энергии от Солнца. Очевидно, что имеется в виду Северное полушарие Земли, а в Южном наблюдается обратная картина.

5.3. Пространственная структура биоценозов

Популяции различных видов биоценоза, подчиняясь соответствующим природным закономерностям, располагаются в пределах пространственных границ биотопа как по площади, так и по высоте.

Пространственная структура наземного биоценоза определяется закономерностью распределения надземных и подземных органов растительности по ярусам (расчленением растительных сообществ по высоте). Ярусное строение растительности (фитоценоза) позволяет максимально использовать лучистую энергию Солнца и зависит от теневыносливости растений. Ярусность хорошо выражена в лесах умеренного пояса. Так, например, в широколиственном лесу выделяются 5—6 ярусов: деревья первой, второй величины, подлесок, кустарник, высокие травы, низкие (приземные) травы. Существуют межъярусные растения — лишайники на стволах и ветках, лианы и др. Ярусность существует и в травянистых сообществах лугов, степей, саванн.

Ярусное строение подземных органов определяется разной глубиной проникновения корневых систем. В каждом ярусе растительности преимущественно обитают свои животные из состава биоценоза. Также существует разделение птиц на экологические группы по месту их питания (воздух, листва, ствол, земля). Дальнейшее подразделение этих групп в зависимости от основного типа пищи показано на рис. 5.14.

Несмотря на то что каждый вид стремится обзавестись собственной нишей, некоторая межвидовая конкуренция между ними за доступные ресурсы неизбежна.

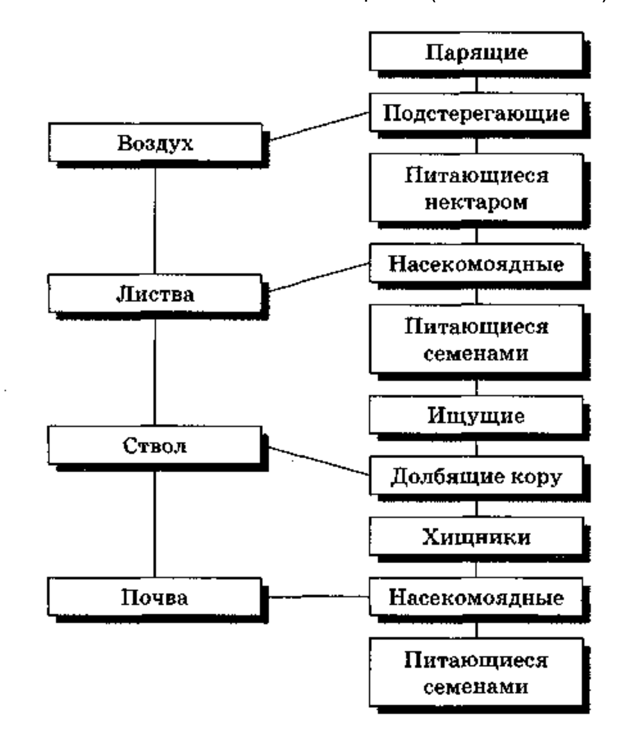


Рис. 5.14. Классификация сообществ птиц в Калифорнии с учетом пространственной структуры биоценоза

Ярусное строение наземных биоценозов тесно связано с их функциональной активностью. Так, пастбищные пищевые цепи преобладают в надземной части биоценозов, а детритные — в подземной. В водных экосистемах крупномасштабная вертикальная структура задается в первую очередь абиотическими условиями. Определяющими факторами являются градиенты освещенности, температуры, концентрации биогенов и т. п. На значительных глубинах усиливается влияние гидростатического давления. В донных биоценозах важны состав грунтов, гидродинамика придонных течений. Особенности вертикальной структуры выражаются в видовом составе, смене доминирующих видов, показателях биомассы и продуктивности. Фотосинтезирующие водоросли преобладают в верхних, хорошо освещенных горизонтах, что формирует вертикальные потоки вещества и энергии в направлении глубоководных биоценозов, жизнь которых основывается на привнесенной органике.

Пространственная структура биоценозов по горизонтали проявляется в их мозаичности и реализуется в виде неравномерного распределения популяций по площади из-за неоднородности почвенно-грунтовых условий, микроклимата, рельефа и т. п. Основой горизонтальной структуры могут служить особи одного вида, обладающего средообразующими свойствами, например, сосна со всеми связанными с ней микроорганизмами, грибами, лишайниками, насекомыми, птицами и т. д.

5.4. Экологические ниши видов в сообществах

Концепция ниши проникла во все разделы экологии, хотя первоначально она возникла как попытка дать всестороннее описание роли вида в сообществе, определяя все связи между популяциями, сообществом и всем биоценозом в данной среде обитания. В таком понимании ниша описывает, каким образом экологические объекты приспосабливаются друг к другу, образуя устойчиво функционирующее целое и позволяя понять, как даже весьма различные по своей организации сообщества могут быть похожи друг на друга.

Термин «ниша» введен Дж. Гриннеллом с целью обозначения самой мелкой единицы распространения вида. Уточненное формальное и потенциально количественное определение ниши дано Г. Хатчинсоном (1958), считавшим, что нишу следует определять с учетном всего диапазона физических, химических и биотических переменных среды, к которым должен быть адаптирован данный вид и под действием которых видовая популяция живет и возобновляется бесконечно долгое время. Теоретически такую переменную можно рассматривать как некий градиент, на котором у каждого вида имеется свой диапазон активности или устойчивости. Примером служит освещенность в лесу, которая убывает логарифмически от вершины деревьев к почве.

Далее Г. Хатчинсон подразделил видовую нишу на:

- фундаментальную — охватывает все множество оптимальных условий, в которых данный вид может обитать в отсутствие врагов;
- реализованную — фактический комплекс условий, в которых вид обычно существует.

Большинство организмов не обитает в своей потенциальной фундаментальной нише, а вследствие взаимодействий с другими организмами занимает меньшую по размерам реализованную нишу. Главными взаимодействиями обычно считают хищничество и конкуренцию. Последняя связана с теорией ниши через концепцию перекрывания ниш. Дело в том, что виды склонны частично разделять между собой свои фундаментальные ниши и в результате на один и тот же ресурс одновременно претендуют две или более популяции. По терминологии Г. Хатчинсона, «гиперпространства» ниш одних видов включают в себя также части «гиперпространств» других видов, т. е. перекрываются с ними.

Если перекрывание незначительно или ресурсы сверхобильны, то виды с перекрывающимися нишами могут сосуществовать в практически раздельных и почти фундаментальных нишах. В перекрывающихся частях любых двух ниш может произойти конкурентное исключение.

Итак, чем обильнее ресурс, тем менее вероятно, что его совместное использование приведет к конкуренции. Не следует ожидать конкуренции из-за неограниченного ресурса, например из-за наличия кислорода в большинстве наземных мест обитания.

Анализ перекрывания ниш привел к другому аспекту теории ниши — диффузной конкуренции. Обычно ниша данного вида перекрывается только с ограниченным количеством соседних ниш вдоль градиента одного ресурса, однако по мере изучения все большего числа факторов среды перечень потенциальных соседей возрастает. Поэтому, хотя попарное перекрывание ниш может быть невелико, суммарный эффект такой диффузной конкуренции может сильно сократить величину реализованной ниши — иногда даже до столь малых размеров, что она становится непригодна для поддержания жизнеспособной популяции (рис. 5.15). В результате вид может быть «выдавлен» группой других видов.

П. Джиллет (1984) сделал вывод, что сообщество представляет собой обширное га-мерное гиперпространство, в пределах которого каждая видовая популяция эволюционирует в таком направлении, чтобы соответствовать своей собственной части этого пространства. Ниша данного вида определяется его положением и реакцией на факторы гиперпространства данного сообщества. В результате каждый вид занимает неясно очерченное диффузное пространство, которое отличается от пространств, занимаемых другими видами сообщества, но может

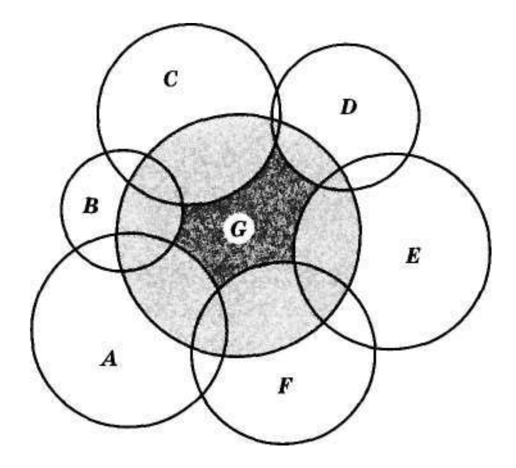


Рис. 5.15. Схема сокращения фундаментальной ниши вида *G* (покрытая точками и заштрихованная области) до его реализованной ниши (заштрихованная область) в результате диффузной конкуренции с видами *A, B, C, D, E* и *F* (по *П. Джиллету)*

перекрываться с ними. Размеры ниш и их местоположение изменяются как в экологическом, так и в эволюционном (см. разд. 7.4) масштабах времени.

5.5. Закономерности саморегуляции биоценозов, экологическое дублирование

Известный русский лесовед Г. Ф. Морозов (1912), опираясь на учение В. В. Докучаева и работы К. Мебиуса, сформулировал *правило:*

в природе не существует полезных и вредных птиц, полезных и вредных насекомых, там все служит друг другу и взаимоприспособлено.

Современная формулировка правила Мебиуса—Морозова — *правила взаимоприспособленности организмов в биоценозе* — гласит:

виды в биоценозе приспособлены друг к другу настолько, что их сообщество составляет внутреннее противоречивое, но единое и взаимно увязанное системное целое.

Ю. Одум установил *правило «метаболизм и размеры особей»,* которое в идеальных условиях[1] имеет всеобщее значение:

> при неизменном энергетическом потоке в пищевой сети или цепи более мелкие наземные организмы с высоким удельным метаболизмом создают относительно меньшую биомассу, чем крупные. Значительная часть энергии уходит на поддержание обмена веществ.

Правило Ю. Одума особенно важно в связи с тем, что из-за антропогенного нарушения природной среды происходит измельчение «средней» особи живого на суше — крупные звери и птицы истреблены и вообще все крупные представители растительного и животного мира становятся все более и более раритетными. Поэтому неминуемо следует ожидать общее снижение относительной продуктивности организмов суши и термодинамический разлад в сообществах и биоценозах.

Если же измельчание особей ведет к производству относительно меньшего количества биомассы, то ее удельный выход с единицы площади (из-за более полного заселения пространства) увеличивается. Данный эмпирический факт Н. Ф. Реймерс назвал *законом удельной продуктивности:*

> никогда слоны не дадут той биомассы и продукции с единицы площади, которую способна дать саранча и тем более совсем мелкие беспозвоночные.

Исчезновение видов, представленных крупными особями, меняет вещественно-энергетическую структуру биоценозов. Так как энергетический поток, проходящий через биоценоз в целом, практически не меняется (иначе бы произошла смена типа биоценоза), включаются механизмы биоценотического или экологического дублирования: организмы одной трофической группы или уровня экологической пирамиды закономерно замещают друг друга. *Правило (принцип) экологического дублирования* Н. Ф. Реймерс сформулировал следующим образом:

[1] В реальных условиях обитания в водных биоценозах оно не реализуется в связи с тем, что мелкие водные организмы в значительной мере поддерживают свой обмен веществ за счет внешней энергии непосредственно окружающей их среды.

исчезающий или уничтожаемый вид живого в рамках одного уровня экологической пирамиды заменяет другой функционал ьно-биоценотически аналогичный. Замена происходит по схеме: мелкий сменяет крупного, эволюционно нижеорганизованный — более высокоорганизованного, более генетически лабильный[1] и мутабельный — менее генетически изменчивого.

Поскольку экологическая ниша в биоценозе не может пустовать, экологическое дублирование происходит обязательно. Действительно, копытных в степи сменяют грызуны, а в ряде случаев растительноядные насекомые. При отсутствии хищников на водоразделах южного Сахалина в зарослях бамбука их роль выполняет серая крыса.

Несколько позже правила смены видов в биоценозах Н. Ф. Реймерс сформулировал в более популярной форме:

- «свято место пусто не бывает»;
- крупные организмы исчезают раньше, и их сменяют мелкие;
- как правило, более эволюционно высокоорганизованные виды бывают вытеснены менее высокоорганизованными, быстрее размножающимися существами;
- всегда побеждают те, кто легче и быстрее изменяется, в том числе генетически.

Проанализировав описанные теоретические основы закономерностей дублирования в биоценозах, Н. Ф. Реймерс (1973) выдвинул гипотетическую теорию механизма возникновения новых инфекционных заболеваний человека путем неблагоприятных замен видов, опубликованную из-за существовавших ограничений только в 1983 г.

Он предположил, что в одних случаях возникает совершенно новая экологическая ниша, а в других случаях борьба с существующими заболеваниями и уничтожение их возбудителей освобождает такую нишу в человеческих популяциях.

Так, за 13 лет до открытия вируса иммунодефицита человека (ВИЧ) — возбудителя синдрома приобретенного иммун-

[1] Лабильность — функциональная подвижность, неустойчивость, изменчивость (от лат. *labilis* — скользящий, неустойчивый) — высокая приспосабливаемость организма к условиям среды.

[2] Мутабельность — склонность к мутации (спонтанным изменениям генетического материала, приводящим к трансформации тех или иных признаков организма).

ного дефицита (СПИД) — была предсказана вероятность появления «гриппоподобного заболевания с высокой летальностью». Организм человека — это место жизни многих, в том числе болезнетворных организмов. Когда многие болезни были побеждены и уничтожены их возбудители, появилась свободная экологическая ниша. Ее и заполнил вирус СПИДа, соответствующий приведенным свойствам: мелок, примитивен, относительно быстро размножается и очень изменчив.

Установлено, что в биоценозах существует столько видов, сколько необходимо для максимальной утилизации приходящей энергии и обеспечения круговорота веществ в пределах энергетического потока. В связи с этим к правилу Уоллеса добавляется принцип *экологогеографического максимума (стабильности числа) видов:*

> число видов в составе географических зон и их биоценозов — относительно постоянно и регулируется вещественно-энергетическими процессами; это число всегда стремится к необходимому и достаточному максимуму.

Дублирование — один из природных механизмов поддержания надежности биоценозов. Это наиболее мобильный способ их адаптации. При этом возможны и генетические изменения в популяциях типа усиления хищнических наклонностей у крысы в приведенном ранее для Сахалина примере. Также возможно межвидовое и внутривидовое дублирование, а в сельском хозяйстве даже межсортовое. Общий «смысл» дублирования остается тем же:

> максимально полно провести и использовать поток энергии, стабилизировать биоценоз в меняющихся условиях существования.

Это свойство было подмечено А. А. Еленкиным (1921), определившим *принцип подвижного равновесия:*

> биотическое сообщество сохраняется как единое целое вопреки регулярным колебаниям среды его существования, но при воздействии необычных факторов структурно изменяется с переносом «точки опоры» на другие растительные компоненты (группы растений).

Если необычные, нерегулярные факторы оказывают многолетнее воздействие, то сообщество формирует иную структу-

ру. Однако, как правило, в биоценозе сохраняются элементы дублирования в виде очень большого числа видов, которые могут быть мобилизованы в случае новых резких изменений среды.

Балансовый подход был уточнен Г. Реммертом (1978), сформулировавшим *принцип продукционной оптимизации:*

> отношение между первичной и вторичной продукцией (между продуцентами и консументами) соответствует принципу оптимизации — «рентабельности» биопродукции.

Как правило, растения и другие продуценты дают биомассу достаточную, но не излишнюю для потребления всем биотическим сообществом (с эволюционно определенным запасом, который обеспечивает надежность системы и обычно в 100 раз превышает потребление в биоценозах суши). При относительном «перепроизводстве» органического вещества биоценоз становится «нерентабельным» и возникают предпосылки для массового размножения отдельных видов. После периода автоколебаний соотношение «популяция—потребление» уравновешивается, биоценоз стабилизируется, балансируются отношения между трофическими уровнями.

Именно как результат экологического дублирования, сдвига в подвижном равновесии и снижения «рентабельности» биоценоза возникают явления массового размножения нежелательных для хозяйства организмов. Монокультура в сельском хозяйстве, однопородные и одновозрастные леса «с позиций природы» чрезвычайно мало рентабельны, неравновесны и потому «требуют исправления» массовыми организмами.

Для хозяйственной деятельности особенно велико значение *правила монокультуры* Ю. Одума:

> эксплуатируемые для нужд человека экосистемы (биоценозы), представленные одним видом, равно как и системы монокультур (например, сельскохозяйственные монокультуры), неустойчивы по своей природе.

Пагубность монокультур «учтена» природой. Более того, ею выработана стратегия сохранения гомеостаза на основе поддержания разнообразия и взаимозависимости членов биоценоза. Один из путей реализации такой стратегии отражает принцип П. Эрлиха и П. Равена или *теории сопряженной эволюции,* называемой также *принципом коэволюции:*

случайное функциональное изменение жертв (потребляемого растения) ведет к закономерному изменению свойств хищников (потребителей), что в свою очередь стимулирует разнообразие как первых, так и вторых.

Все перечисленные закономерности саморегуляции биоценозов обобщены Н. Ф. Реймерсом в виде *принципа стабильности:*

любая относительно замкнутая биосистема с проходящим через нее потоком энергии в ходе саморегуляции развивается в сторону устойчивого состояния.

Им же сформулировано и обобщающее *правило биоценотической надежности:*

надежность биоценоза зависит от его энергетической эффективности в данных условиях среды и возможностей структурно-функциональной перестройки в ответ на изменение внешних воздействий (материала для дублирования, межвидового и внутривидового, поддержания продукционной «рентабельности» и т. п.).

5.6. Биоразнообразие

Многообразие биологических видов соответствует разнообразию условий обитания на Земле. Одна из главных особенностей живого состоит в заселении не только зон наиболее благоприятного климата, но и всех уголков планеты: высокогорных, глубоководных, подземных ареалов.

Многочисленность и разнообразие обитателей планеты соответствует разнообразию экологических ниш в биогеоценозах. Миллионы биологических видов — основной ресурс и базис устойчивости (гомеостаза) биосферы. Техногенные воздействия на природные экосистемы приводят к вымиранию многих видов, этот процесс катастрофически ускорился в XX в., он ведет к потере устойчивости отдельных экосистем и биосферы в целом.

Исследуя закономерности, определяющие разнообразие видов в живой природе и устойчивость биоценозов, Н. Ф. Реймерс предложил очень наглядную аналоговую модель, имеющую форму волчка (рис. 5.16). Диаметр колес (цилиндров) волчка пропорционален числу видов, а толщина (высота ци-

линдров) — биомассе соответствующего трофического уровня. При этом автором взято минимальное называемое число видов консументов, хотя в литературе оно приводится многократно большим (не менее 5 млн видов), что делает модель только нагляднее. Волчок вращает энергия Солнца, что на рис. 5.16 показано стрелками сверху. Модель справедлива для любого конкретного биоценоза.

Из анализа модели следует, что система становится устойчивее с наращиванием подводимой к ней мощности (количества энергии в единицу времени) и с увеличением диаметра среднего колеса волчка, т. е. количества консументов. Таким образом, консументы служат управляющим (балансирующим) звеном в системе биоценоза. Именно они порождают спектр разнообразия в биоценозе (сообществе) и препятствуют моно-

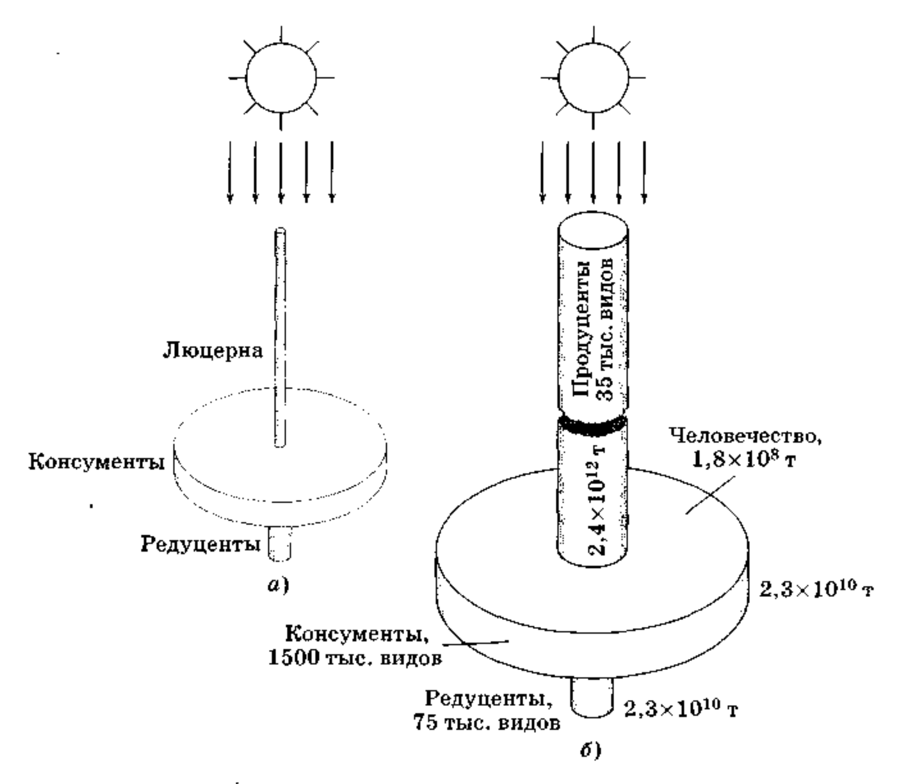


Рис. 5.16. «Волчок жизни» (по *Н. Реймерсу): а* — для упрощенной модельной экосистемы *Ю. Одума:* люцерна — телятина — мальчик (с включением других консументов и редуцентов); *б* — для биоценоза Земли в целом

полии доминантов. Массовое размножение «вредителей» на полях монокультуры и в моновидных омоложенных лесных насаждениях иллюстрирует сделанный вывод.

Поскольку эволюционные переходы в природе занимают сравнительно небольшое время, считается, что предельная совокупность видов могла быть образована в эволюции жизни всего за 70 млн лет. Дальнейшее нарастание количества видов практически исключено из-за ограниченности числа экологических ниш и принципа конкурентного исключения. Так как за последние 500 млн лет число видов оставалось практически одинаковым, Н. Ф. Реймерс сформулировал *правило константности видов в ходе стационарной эволюции биосферы*[1]*:*

> число нарождающихся видов в среднем равно числу вымерших и общее видовое разнообразие в биосфере есть константа.

Биологическая наука — систематика — подразделяет все живое на таксоны — группы организмов, имеющие общие черты морфологической организации и физиологических процессов и в то же время достаточно обособленные в природе, т. е. не имеющие гибридов с представителями других таксонов.

Наиболее естественным природным таксоном является вид — классификационная единица низшего ранга. Современная систематика насчитывает в живой природе пять высших таксонов, представители которых различаются по типу обменных процессов и роли в природе: это бактерии, простейшие, грибы, растения и животные. В каждой из этих крупных групп организмов можно найти более примитивных и более морфологически и физиологически сложных представителей, причем все они в высокой степени адаптированы к среде своего обитания.

Бактерии. Бактерии (от греч. *bakterion* — палочка) — микроорганизмы с этопрокариотным типом строения клетки. Их клетки не имеют отделенного от цитоплазмы ядра. Однако генетическая программа, как и у всех живых организмов, закодирована в виде последовательности нуклеотидов в ДНК и несет информацию о структуре белков. Бактериальные клетки

[1] Приведенное правило автор сопровождает оговоркой, что оно, видимо, справедливо для уже сформировавшейся биосферы и, вероятно, ограничено геологическими периодами. Это связано с нереальностью получения эмпирических доказательств правила потому, что в число видов входят и такие, которые трудно обнаружить в геологических пластах.

не содержат таких органелл, как хлоропласты (специализированных для фотосинтеза) и митохондрии (специализированных для клеточного дыхания и синтеза АТФ). Эти биохимические процессы происходят у бактерий в цитоплазме.

Роли бактерий в природе очень разнообразны, что связано с различными источниками энергии, используемыми разными группами бактерий. Многие гетеротрофные аэробные бактерии являются редуцентами в экосистемах. В почве они участвуют в образовании плодородного слоя, преобразуя лесную подстилку и гниющие остатки животных в гумус. Бактерии почвы также разлагают органические соединения до минеральных веществ. Установлено, что до 90% $C0_2$ попадает в атмосферу за счет деятельности бактерий и грибов. Бактерии участвуют в биогеохимических циклах азота, серы, фосфора. Самоочищение воды в природных водоемах, а также очистка сточных вод производится аэробными и анаэробными гетеротофными бактериями.

Бактерии-симбионты населяют кишечник травоядных животных; бактериальная микрофлора кишечйика человека участвует в процессах переваривания целлюлозы (растительной клетчатки). Эти бактерии также синтезируют некоторые витамины. Нитрифицирующие бактерии — симбионты бобовых растений — обогащают почву азотом.

Бактерии брожения используются в биотехнологических производствах. Продукты брожения используются как источники пищи (в молочной промышленности) и топлива (биогаз из растительных остатков). Бактерии применяют в генетической инженерии, например, для биотехнологического получения инсулина, интерферона и других ценных лекарственных препаратов.

Ряд бактерий является возбудителем болезней растений, животных, человека (столбняк, тиф, коклюш, холера, дифтерия и др.).

В некоторых экосистемах автотрофные бактерии, как фотосинтезирующие, так и хемосинтезирующие, являются продуцентами. Цианобактерии (фотосинтетики) играли решающую роль в повышении уровня свободного кислорода в атмосфере в ранние периоды жизни Земли. В настоящее время бактериальные препараты применяют для очистки почвы от нефтяных и других органических загрязнений, для борьбы с насекомыми-вредителями и т. д.

Простейшие. *Простейшие* — одноклеточные эукариотические организмы со сложно организованной цитоплазмой и ис-

тинным ядром. Клетка простейших выполняет все жизненно важные функции с помощью специализированных внутриклеточных структур — органелл. В природе простейшие широко распространены во влажной и водной среде. Среди них имеются авто- и гетеротрофы. Разнообразие простейших велико: описано более 50 тыс. видов, входящих в водные и почвенные сообщества. Имеются также виды простейших, паразитирующих на многоклеточных организмах и являющихся возбудителями заболеваний. Многие простейшие участвуют в очистке сточных вод, в почвенных экосистемах — в почвообразовании.

Грибы. Грибы[1] — это одна из самых больших и процветающих групп организмов. Разнообразие грибов охватывает такие организмы, как одноклеточные дрожжи, плесневые грибы, возбудители болезней и, наконец, высшие грибы, имеющие зачастую крупные размеры и употребляемые в пищу человеком.

Грибы — это гетеротрофные организмы. Тип питания грибов — сапрофитный (поглощение питательных веществ через поверхность тела). У шляпочных грибов плодовые тела состоят из переплетения тонких нитей. Грибные нити называют гифами, а их совокупность — мицелием. Отдельный гриб может образовать за 24 ч мицелий длиной более километра. Роль грибов в природе чрезвычайно велика. Грибы зачастую являются симбионтами (партнерами) растений. Взаимовыгодная связь грибов с корневой системой растений — микориза — имеет большое значение в питании и распространении растений, в почвообразовании. Симбионты грибов с водорослями — лишайники — заселяют непригодные для других организмов места обитания.

В наземных и почвенных экосистемах грибы вместе с бактериями являются редуцентами, питаясь мертвым органическим веществом и разлагая его. Метаболическая активность грибов очень высока, они способны к быстрому разрушению горных пород и высвобождению из них химических элементов, которые при этом включаются в биогеохимические циклы углерода, азота и других компонентов почвы и воздуха.

Многие грибы являются паразитами растений и животных. Некоторые виды вызывают быструю порчу деревянных, кожаных изделий и многих других органических материалов, а также пищевых продуктов. Грибы образуют биологически

[1] Насчитывается около 100 тыс. видов, в том числе свыше 100 видов съедобных.

активные вещества, используемые в медицине и биотехнологии (например, антибиотики). Дрожжи, благодаря способности синтезировать спирт и кислоту, используются с древних времен и до наших дней в хлебопечении и виноделии.

Наконец, съедобные шляпочные грибы — ценный пищевой продукт и объект специального разведения.

Растения. Это автотрофные фотосинтезирующие эукариотические организмы, в клетках которых в специализированных для фотосинтеза органеллах — хлоропластах — содержится зеленый пигмент — хлорофилл. Среди растений выделяют группы обитателей воды и суши. Ведущее место в водных экосистемах занимают водоросли, играющие роль продуцентов органического вещества и источников кислорода. Мельчайшие водоросли, парящие в поверхностных слоях теплых океанов, благодаря быстрому размножению и большой суммарной биомассе, являются важными поставщиками кислорода для всей атмосферы Земли. Некоторые водоросли используются в пищу животных и человека.

В наземных экосистемах поток энергии по пищевым цепям начинается с сосудистых растений — мхов, папоротников, голосеменных и покрытосеменных (цветковых). Эти растения имеют разнообразные приспособления для наземного существования, добывания и использования воды, размножения. Самая совершенная — группа цветковых (покрытосеменных) растений, освоивших разнообразнейшие места обитания. Земные растения играют ведущую роль в современной биосфере. Заселение суши растениями определяет облик континентов. В экосистемах именно растения, как правило, являются доминантными видами, определяющими характер зооценозов и микробиоценозов.

В хозяйственной деятельности и жизни человека растения также играют ведущую роль как источник пищи, строительного материала, лекарственных и других биологически активных веществ. Растительные сообщества палеобиосфер создали ныне используемые человеком запасы органического топлива. Растительный покров планеты регулирует климат, гидрологический режим, служит основой способности экосистем к самоочищению. Растения широко используют современную биотехнологию для производства пищевой биомассы, лекарств, биомассы для энергетических цепей.

Животные. Эта группа животных включает многоклеточные эукариотические гетеротрофные организмы, большинство которых способно к активному движению и питается, схваты-

вая и заглатывая добычу, переваривание которой происходит в полостях пищеварительного тракта. В экосистемах животные представляют трофические уровни консументов (травоядные животные, мелкие и крупные хищники, некрофаги). Разнообразие животных весьма велико. Среди животных биологическая систематика выделяет десятки различных типов строения тела, с чем связаны и особенности выполнения основных жизненных функций. Для животных характерно наличие нервно-гормональной регуляции физиологических процессов и активного поведения (выбора образа действий). Можно разделить царство животных на две большие группы — беспозвоночных и позвоночных.

У представителей позвоночных — рыб, амфибий, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих — особенно хорошо развита нервная система, что позволяет им быстро двигаться, активно охотиться и завоевывать все современные среды обитания. Развитие центральной нервной системы (мозга) является морфологическим условием развития сложного индивидуального поведения и интеллектуальных свойств у высших животных. Среди беспозвоночных животных наиболее процветающая группа — насекомые, многие из которых обладают сложными врожденными формами поведения и развитым социумом («общественные» насекомые — пчелы, термиты, муравьи и др.).

В наземных экосистемах 90% растительной биомассы перерабатывается грибками и бактериями, около 9% — мелкими беспозвоночными животными и только 1% энергии первичной продукции — крупными животными. Однако видовое разнообразие животных играет важную роль в регуляции биоценозов. Многие виды животных служат для человека объектом разведения и промысла. Домашние и сельскохозяйственные животные — верные спутники человечества на пути цивилизации.

Контрольные вопросы и задания

5.1. Что такое пищевая цепь и как много таких цепей в экосистемах?
5.2. Расскажите о потоке энергии, проходящем через пищевую цепь.
5.3. Какие трофические уровни в пищевой цепи занимают продуценты и консументы первого, второго и третьего порядков?
5.4. Как формулируется правило экологической пирамиды? Чем отличаются пирамиды энергии от пирамид чисел и биомасс?

5.5. От чего зависит видовой состав и насыщенность биоценоза?
5.6. Дайте определение вида, являющегося эдификатором. Приведите примеры.
5.7. Кто чью численность контролирует: хищник численность жертвы или наоборот?
5.8. Как влияют абиотические факторы среды на формирование видовой структуры биоценозов?
5.9. Сформулируйте правило экологического дублирования и приведите примеры его действия.
5.10. Объясните, в чем заключается особая важность биоразнообразия для экосистем нашей планеты.

ГЛАВА 6

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Провести четкую грань между биоценозом, всегда занимающим какой-то определенный биотоп, и экологической системой (экосистемой), представляющей собой единство биоценоза и биотопа, достаточно сложно.

Экологическая система (экосистема) — совокупность популяций различных видов растений, животных и микробов, взаимодействующих между собой и окружающей их средой таким образом, что эта совокупность сохраняется неопределенно долгое время. Примеры экологических систем: луг, лес, озеро, океан.

Экосистемы существуют везде — в воде и на земле, в сухих и влажных районах, в холодных и жарких местностях. Они по-разному выглядят, включают различные виды растений и животных. Однако в «поведении» всех экосистем имеются и общие аспекты, связанные с принципиальным сходством энергетических процессов, протекающих в них. Одним из фундаментальных правил, которым подчиняются все экологические системы, является *принцип Ле Шателье—Брауна:*

> при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, это равновесие смещается в направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется.

При изучении экосистем анализируют прежде всего поток энергии и круговорот веществ между соответствующими биотопом и биоценозом. Экосистемный подход учитывает общность организации всех сообществ независимо от местообитания. Это подтверждает сходство структуры и функционирования наземной и водной экосистем.

По определению В. Н. Сукачева, **биогеоценоз** (от греч. bios — жизнь, дё — Земля, ценоз — сообщество) — это совокупность однородных природных элементов (атмосферы, горной

породы, растительности, животного мира и мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий) на определенном участке поверхности Земли. Контур биогеоценоза устанавливается по границе растительного сообщества (фитоценоза).

Термины «экологическая система» и «биогеоценоз» не являются синонимами. Экосистема — это любая совокупность организмов и среды их обитания, в том числе, например, горшок с цветком, муравейник, аквариум, болото, пилотируемый космический корабль. У перечисленных систем отсутствует ряд признаков из определения В. Н. Сукачева, и в первую очередь элемент «гео» — Земля. Биоценозы — это только природные образования. Однако биоценоз в полной мере может рассматриваться как экосистема. Таким образом, понятие «экосистема» шире и полностью охватывает понятие «биогеоценоз» или «биогеоценоз» — частный случай «экосистемы».

Самая крупная природная экосистема на Земле — биосфера. Граница между крупной экосистемой и биосферой столь же условна, как и между многими другими понятиями в экологии. Различие преимущественно состоит в такой характеристике биосферы, как глобальность и большая условная замкнутость (при термодинамической открытости). Прочие же экосистемы Земли вещественно практически не замкнуты.

Биомы — наиболее крупные наземные экосистемы, соответствующие основным климатическим зонам Земли (пустынные, травянистые и лесные); водные экосистемы — основные экосистемы, существующие в водной сфере (гидросфере). Иногда в литературе встречается близкая, но менее четкая классификация, прежде всего выделяющая влажные тропические леса, саванны, пустыни, степи, леса умеренного пояса, хвойные (тайгу), тундру.

Каждый биом включает в себя ряд меньших по размеру, связанных между собой экосистем. Одни из них могут быть очень крупными, площадью в миллионы квадратных километров, другие — мелкими, например, небольшой лесок. Важно то, что любую экосистему можно определить как более или менее специфическую группировку растений и животных, взаимодействующих друг с другом и со средой. Так, легко выделить множество типов водных экосистем (ручьи, реки, озера, пруды, болота и др.) или подразделить океаны на отдельные экосистемы (коралловые рифы, континентальный шельф, абиссаль и т. д.). Четкие границы между экосистемами встречаются редко, обычно между ними находится переходная зона со своими особенностями.

На границе двух экосистем, например на опушке леса, одновременно встречаются представители лесных и луговых видов. Контрастность среды, а потому большее обилие экологических возможностей порождает «сгущение жизни», называемое **правилом краевого эффекта** или **правилом экотона** (от греч. *oikos* — дом, *tonos* — связь). Хорошо известно, что на опушках леса жизнь богаче, а в его глубине, как и в середине луга, она менее разнообразна. В природе все существует только совместно, а два рядом расположенных образования могут плавно переходить друг в друга.

6.1. Структура экосистем

Любую экосистему прежде всего можно разделить на совокупность организмов и совокупность неживых (абиотических) факторов окружающей природной среды. Структура биогеоценоза приведена на рис. 6.1.

В свою очередь экотоп состоит из климата во всех многообразных его проявлениях и геологической среды (почв и грунтов), называемой **эдафотопом** (от греч. *edaphos* — почва). **Экотоп** — это то, откуда биоценоз черпает средства для существования и куда выделяет продукты жизнедеятельности.

Структура живой части биогеоценоза определяется трофоэнергетическими связями и отношениями, в соответствии с которыми выделяют три главных функциональных компонента:



Рис. 6.1. Структурная схема биогеоценоза (по *В. Н. Сукачеву)*

- комплекс автотрофных организмов-продуцентов, обеспечивающих органическим веществом и, следовательно, энергией остальные организмы (фитоценоз (зеленые растения), а также фото- и хемосинтезирующие бактерии);
- комплекс гетеротрофных организмов-консументов, живущих за счет питательных веществ, созданных продуцентами (зооценоз (животные), а также бесхлорофилл ьные растения);
- комплекс организмов-редуцентов, разлагающих органические соединения до минерального состояния (микробоценоз, а грибы и прочие организмы, питающиеся мертвым органическим веществом).

В качестве наглядной модели экологической системы и ее структуры Ю. Одум предложил использовать космический корабль при длительных путешествиях, например, на планеты Солнечной системы или еще дальше. Покидая Землю, люди должны иметь четко ограниченную закрытую систему, которая обеспечивала бы все их жизненные потребности, а в качестве энергии использовала энергию солнечного излучения. Такой космический корабль должен быть снабжен системами полной регенерации всех жизненно важных абиотических компонентов (факторов), позволяющих их многократное использование. В нем должны осуществляться сбалансированные процессы продуцирования, потребления и разложения организмами или их искусственными заменителями. По сути, такой автономный корабль будет представлять собой микроэкосистему, включающую человека.

6.2. Продуктивность экосистем

В процессе жизнедеятельности биоценоза создается и расходуется органическое вещество, т. е. соответствующая экосистема обладает определенной продуктивностью биомассы. Биомассу измеряют в единицах массы или выражают количеством энергии, заключенной в тканях[1].

[1] 1 г сухого органического вещества растения в среднем имеет энергетическую ценность, равную 19 кДж (4,5 ккал). Более богатые белками и жирами семена растений содержат около 20 кДж/г, а сухое вещество позвоночного животного (мясо) — в среднем 23,5 кДж/г (5,6 ккал/г) энергии.

Понятия «продукция» и «продуктивность» хотя и выражены однокоренными словами, но в экологии (как и в биологии) имеют различный смысл. **Продуктивность** — это скорость производства биомассы в единицу времени, которую нельзя взвесить, а можно только рассчитать в единицах энергии или накопления органических веществ. В качестве синонима термина «продуктивность» Ю. Одум предложил использовать термин «скорость продуцирования».

Продуктивность[1] экосистемы говорит о ее «богатстве». В богатом или продуктивном сообществе больше организмов, чем в менее продуктивном, хотя иногда бывает и наоборот, когда организмы в продуктивном сообществе быстрее изымаются или «оборачиваются». Так, урожай травы на корню богатого пастбища, выедаемого скотом, может быть гораздо меньше, чем на менее продуктивном пастбище, на которое не выгоняли скот.

Наличную биомассу или урожаи на корню на данное время нельзя путать с продуктивностью.

Различают также продуктивность *текущую* и *общую*. Например, в некоторых конкретных условиях 1 га соснового леса способен за период своего существования и роста образовать 200 м^3 древесной массы — это его общая продуктивность. Однако за один год этот лес создает всего лишь около 2 м^3 древесины, что является текущей продуктивностью или годовым приростом.

При поедании одних организмов другими пища (вещество и энергия) переходит с одного трофического уровня на последующий. Непереваренная часть пищи выбрасывается. Животные, обладающие пищеварительным каналом, выделяют фекалии (экскременты) и конечные органические отходы метаболизма (экскреты), например мочевину; и в том и в другом случае содержится некоторое количество энергии. Как животные, так и растения теряют часть энергии при дыхании.

Энергию, оставшуюся после потерь из-за дыхания, пищеварения, экскреции, организмы используют для роста, размножения и процессов жизнедеятельности (мышечная работа, поддержание температуры теплокровных животных и пр.). Затраты энергии на терморегуляцию зависят от климатических

[1] На гетеротрофном уровне в отличие от автотрофного более правильно использовать термин не «продуктивность», а «скорость ассимиляции (усвоения)».

условий и времени года, особенно велики различия между гомойотермными и пойкилотермными животными. Теплокровные, получив преимущество при неблагоприятных и нестабильных условиях среды, потеряли в продуктивности.

Расход потребленной животными энергии определяется уравнением:

РОСТ + ДЫХАНИЕ (ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ) + РАЗМНОЖЕНИЕ + + ФЕКАЛИИ + ЭКСКРЕТЫ = ПОТРЕБЛЕННАЯ ПИЩА.

В целом травоядные усваивают пищу почти в два раз менее эффективно, чем хищники. Это объясняется тем, что растения содержат большое количество целлюлозы, а порой и древесины (включающей целлюлозу и лигнин), которые плохо перевариваются и не могут служить источником энергии для большинства травоядных. Энергия, заключенная в экскрементах и экскретах, передается детритофагам и редуцентам, поэтому для экосистемы в целом она не теряется.

Сельскохозяйственные животные всегда, даже при содержании на пастбище на подножном корму, отличаются более высокой продуктивностью, т. е. способностью более эффективно использовать потребленный корм для создания продукции. Главная причина состоит в том, что эти животные освобождены от значительной части энергетических расходов, связанных с поиском корма, с защитой от врагов, непогоды и т. д.

Первичная продуктивность экосистемы, сообщества или любой их части определяется как скорость, с которой энергия Солнца усваивается организмами-продуцентами (в основном зелеными растениями) в ходе фотосинтеза или химического синтеза (хемопродуцентами). Эта энергия материализуется в виде органических веществ тканей продуцентов.

Принято выделять четыре последовательные ступени (или стадии) процесса производства органического вещества:

- *валовая первичная продуктивность* — общая скорость накопления органических веществ продуцентами (скорость фотосинтеза), включая те, что были израсходованы на дыхание и секреторные функции. Растения на процессы жизнедеятельности тратят примерно 20% производимой химической энергии;
- *чистая первичная продуктивность* — скорость накопления органических веществ за вычетом тех, что были израсходованы при дыхании и секреции за изучаемый период. Эта энергия может быть использована организмами следующих трофических уровней;

- *чистая продуктивность сообщества* — скорость общего накопления органических веществ, оставшихся после потребления гетеротрофами-консументами (чистая первичная продукция минус потребление гетеротрофами). Она обычно измеряется за какой-то период; например, вегетационный период роста и развития растений или за год в целом;
- *вторичная продуктивность* — скорость накопления энергии консументами. Ее не делят на «валовую» и «чистую», так как консументы потребляют лишь ранее созданные (готовые) питательные вещества, расходуя их на дыхание и секреторные нужды, а остальное превращая в собственные ткани.

Ежегодно на суше растения образуют в пересчете на сухое вещество $1{,}7 \cdot 10^{11}$ т биомассы, эквивалентной $3{,}2 \cdot 10^{18}$ кДж энергии — такова чистая первичная продуктивность. Однако, с учетом затраченного на дыхание, валовая первичная продуктивность (работоспособность) наземной растительности составляет около $4{,}2 \cdot 10^{18}$ кДж.

Показатели первичной и вторичной продуктивности для основных экосистем приведены в табл. 6.1.

Первичная продукция, доступная гетеротрофам, а человек относится именно к ним, составляет максимум 4% от общей энергии Солнца, поступающей к поверхности Земли. Поскольку на каждом трофическом уровне энергия теряется, для всеядных организмов (в том числе и для человека) наиболее эффективный способ извлечения энергии — потребление растительной пищи (вегетарианство). Однако необходимо учитывать также следующее:

- животный белок содержит больше незаменимых аминокислот и лишь некоторые бобовые (например, соя) приближаются к нему по своей ценности;
- растительный белок переваривается труднее, чем животный, из-за необходимости предварительно разрушить жесткие клеточные стенки;
- в ряде экосистем животные добывают пищу на большой территории, где не выгодно выращивать культурные растения (это неплодородные земли, на которых пасутся овцы или северные олени).

Так, у человека около 8% белков ежедневно выводится из организма (с мочой) и вновь синтезируется. Для полноценного питания необходимо сбалансированное поступление аминокислот, подобных тем, что содержатся в тканях животных.

Таблица 6.1

Первичная и вторичная продуктивность экосистем Земли (по Н. Ф. Реймерсу)

Экосистемы	Площадь, млн км^2	Средняя чистая первичная продуктивность, г/см^2 в год	Общая чистая первичная продуктивность, млрд т в год	Вторичная продуктивность, млн т в год
Континентальные (в целом)	149	773	115	**909**
в том числе:				
влажные тропические леса	**17**	2200	37,4	260
вечнозеленые леса умеренных широт	**5**	1300	**6,5**	**26**
листопадные леса умеренных широт	**7**	1200	**8,4**	**42**
тайга	12	800	**9,6**	**38**
саванна	15	900	13,5	300
тундры	**8**	140	1,1	**3**
пустыни и полупустыни	**18**	90	**1,6**	**7**
болота	**2**	2000	**4,0**	32
озера и водотоки	**2**	250	0,5	10
земли, возделываемые человеком	**14**	650	**9,1**	**9**
Морские (в целом)	**361**	**152**	**55,0**	**3025**
в том числе:				
открытый океан	332	125	41,5	2500
апвелинги (зоны подъема вод)	**0,4**	500	0,2	11
континентальный шельф	**26**	360	**9,6**	430
рифы и заросли водорослей	**0,6**	2500	**1,6**	36
эстуарии	**1,4**	1500	2,1	48
Биосфера (в целом)	**510**	**333**	**170,0**	**3934**

При отсутствии какой-либо важной для организма человека аминокислоты (например, в злаках) при метаболизме усваивается меньшая доля белков. Сочетание в рационе питания бобовых и зерновых обеспечивает лучшее использование белка, чем при потреблении каждого из этих видов пищи в отдельности.

В более плодородных прибрежных водах продуцирование приурочено к верхнему слою воды толщиной около 30 м, а в более чистых, но бедных водах открытого моря зона первичного продуцирования может простираться вглубь на 100 м и ниже. Поэтому прибрежные воды выглядят темно-зелеными, а океанические — синими. Во всех водах пик фотосинтеза приходится на слой воды, расположенный непосредственно под поверхностным слоем, так как циркулирующий в воде фитопланктон адаптирован к сумеречному освещению и яркий солнечный свет тормозит его жизненные процессы.

6.3. Функционирование (динамика) экосистем

Сложные межвидовые взаимоотношения, определяющие функциональную целостность экосистем, отличаются относительной «свободой» структурных связей между отдельными компонентами. Виды в составе конкретных биоценозов могут замещаться биологически сходными видами. Нестабильность абиотических факторов экосистем является причиной колебаний состава и функциональных связей в биоценозах. Динамичность — одно из фундаментальных свойств экосистем, которое отражает не только зависимость последних от комплекса факторов, но и адаптивную (приспособительную) реакцию всей системы на эти факторы.

Масштабы времени, в которых выражается динамика экосистем, различны. Изменения могут иметь суточную или сезонную ритмичность, продолжаться несколько лет или охватывать целые геологические эпохи, влияя на развитие глобальной экосистемы Земли.

На стадии зарождения жизни на Земле бурно шли разнообразные химические реакции. Синтезировались и вступали в последующие реакции одни вещества, другие разлагались, преобразовывались в иные соединения, причем считают, что весь процесс был мало упорядочен и хаотичен. С возникновением жизни химические процессы постепенно стали подчи-

няться определенным закономерностям и упорядочились. Атомы, входящие в состав органических соединений живой ткани, стали передаваться по пищевой цепи от одного звена к другому и в конце концов возвращаться в неорганическую природу.

Акад. В. И. Вернадский установил закономерность, сформулированную как *закон биогенной миграции атомов:*

> миграция химических элементов во всех экосистемах, включая биосферу в целом, либо осуществляется при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), либо протекает в среде, геохимические особенности которой (O_2, CO_2, H_2 и т. д.) обусловлены живым веществом, как населяющим планету в настоящее время, так и действовавшим на Земле в течение всей геологической истории.

Разнообразие организмов, существующих во всевозможных экосистемах планеты, по образному выражению В. И. Вернадского, образует «живое вещество» Земли. Главной геохимической особенностью живого вещества является то, что оно пропускает через себя атомы химических элементов, осуществляя в процессе жизнедеятельности их закономерную сортировку и дифференциацию. Завершив свой жизненный цикл, организмы возвращают природе все, что взяли от нее в течение жизни.

Малые миграционные потоки химических элементов как между взаимосвязанными организмами, так и между организмами и окружающей их средой складываются в более крупные циклы — круговороты. Продолжительность и постоянство существования жизни поддерживают именно круговороты, потому что без них даже в масштабах всей Земли запасы необходимых элементов были бы очень скоро исчерпаны.

Круговорот биологический (биотический) — явление непрерывного, циклического, закономерного, но неравномерного во времени и пространстве перераспределения вещества, энергии[1] и информации в пределах экологических систем различного иерархического уровня организации — от биогеоценоза до биосферы. Круговорот веществ в масштабах всей биосферы называют *большим* кругом (рис. 6.2), а в пределах конкретного биогеоценоза — *малым* кругом биотического обмена.

[1] Энергетические циклы очень слабы.

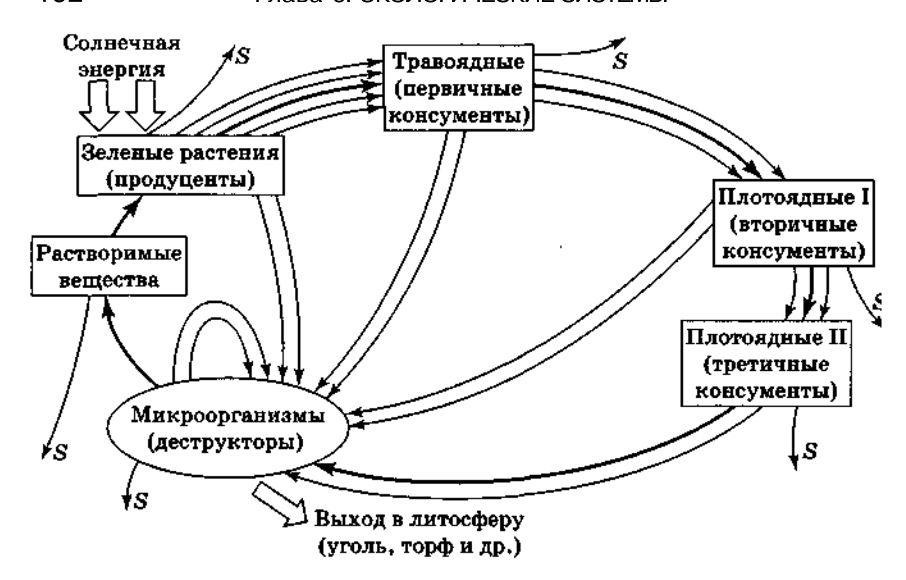


Рис. 6.2. Схема большого биосферного круговорота (по *В. А. Радкевичу*): S — энтропия

Часть биологического круговорота, состоящая из круговоротов углерода, воды, азота, фосфора, серы и других биогенных веществ, называют *биогеохимическим круговоротом*.

Некоторое количество вещества может на время выбывать из биологического круговорота (осаждаться на дне океанов, морей, выпадать в глубины земной коры и т. п.). Однако в результате протекания тектонических и геологических процессов (вулканической деятельности, подъема и опускания земной коры, изменения границ между сушей и водой и др.) осадочные породы вновь включаются в круговорот, называемый *геологическим циклом* (см. разд. 7.2.4) или круговоротом.

Круговороты веществ от продуцентов к консументам различных уровней, затем к редуцентам, а от них вновь к продуцентам замкнуты не полностью. Если бы в экосистемах существовала их полная замкнутость, то не возникало бы никаких изменений среды жизни, не было бы почвы, известняков и прочих горных пород биогенного происхождения. Таким образом, биотический круговорот можно условно изобразить в виде незамкнутого кольца. Принципиальная схема круговорота веществ, предложенная Н. Ф. Реймерсом, приведена на рис. 6.3, где самые мелкие кольца обмена соответствуют биогеоценоти-

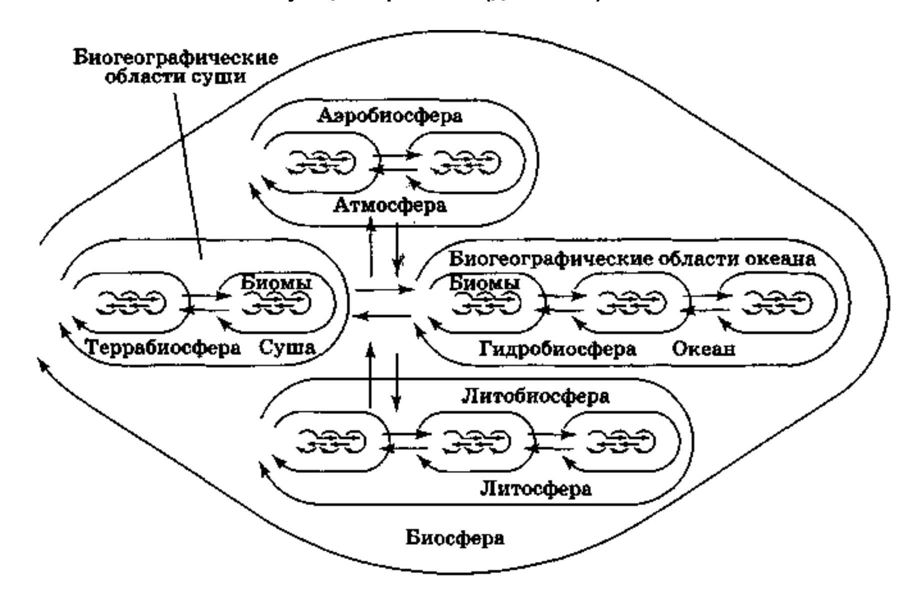


Рис. 6.3. Принципиальная схема круговорота веществ (по *Н. Ф. Реймерсу)*

ческому обмену веществ (в пределах элементарных экосистем), наибольшее кольцо — обмену веществ в планетарном (биосферном) масштабе, а остальные кольца — обмену веществ в экосистемах соответствующих иерархических уровней.

Потери вещества из-за незамкнутости круговорота минимальны в биосфере (самой крупной экосистеме планеты). Информация в экосистемах теряется с гибелью видов и необратимыми генетическими перестройками.

Таким образом, каждая экосистема поддерживает свое существование за счет круговорота биогенов и постоянного притока солнечной энергии. Круговорот энергии в экосистемах практически отсутствует, поскольку от редуцентов она (энергия) возвращается к консументам в мизерных количествах. Считают, что коэффициент круговорота энергии не превышает 0,24%. Энергия может накапливаться, сберегаться (т. е. преобразовываться в более эффективные формы) и передаваться из одной части системы в другую, но она не может быть снова пущена в дело, как вода и минеральные вещества. Единожды пройдя от растений-продуцентов через консументы к редуцентам, энергия выносится в околоземное и космическое пространство. При движении через экосистему поток энергии затрагивает в основном ее биоценоз, поэтому он подробно рассмотрен ранее.

6.3.1. Круговорот биогенных элементов

Продуценты, консументы, детритофаги и редуценты экосистемы, поглощая и выделяя различные вещества, взаимодействуют между собой четко и согласованно. Органические вещества и кислород, образуемые фотосинтезирующими растениями, — важнейшие продукты питания и дыхания консументов. В то же время выделяемые консументами диоксид углерода и минеральные вещества навоза и мочи являются биогенами, столь необходимыми продуцентам. Поэтому вещества в экосистемах совершают практически полный круговорот, попадая сначала в живые организмы, затем в абиотическую среду и вновь возвращаясь в живое. Вот один из основных *принципов функционирования экосистем:*

> получение ресурсов и переработка отходов происходят в процессе круговорота всех элементов.

К числу наиболее важных и распространенных биогенных элементов относятся кислород, углерод, азот и фосфор.

6.3.1.1. Круговорот углерода

В ходе фотосинтеза атомы углерода переходят из состава углекислого газа[1] $C0_2$ в состав глюкозы и других органических веществ растительных клеток. Далее они переносятся по пищевым цепям, образуя ткани всех остальных живых существ экосистемы. Однако побывать в составе клеток живых организмов всех трофических уровней удается только малому числу атомов углерода, так как на каждом уровне большинство органических молекул расщепляется в процессе клеточного дыхания для получения энергии. После этого атомы углерода поступают в абиотическую часть окружающей среды в составе углекислого газа, чем завершается один цикл и создаются предпосылки начала другого цикла (рис. 6.4). Аналогичным образом углерод возвращается в атмосферу при сжигании лю-

[1] В настоящее время для обозначения $C0_2$ в химии принято пользоваться термином «диоксид углерода», однако в биологической и иной литературе все еще распространен термин «углекислый газ», понятный более широкому кругу читателей.



Рис. 6.4. Структурная схема круговорота углерода

бых органических соединений, например древесины, сухой травы или листьев, а также ископаемого топлива.

Вывод части углерода из естественного круговорота экосистемы и «резервирование» в виде ископаемых запасов органического вещества в недрах Земли является важной особенностью рассматриваемого процесса. В далекие геологические эпохи значительная часть фотосинтезируемого органического вещества не использовалась ни консументами, ни редуцентами, а накапливалась в виде детрита. Позже слои детрита были погребены под слоями различных минеральных осадков, где под действием высоких температур и давления за миллионы лет превратились в нефть, уголь и природный газ (в зависимости от исходного материала, продолжительности и условий пребывания в земле). Подобные процессы протекают и в настоящее время, но значительно менее интенсивно. Их результат — образование торфа.

В водных экосистемах прерывание круговорота углерода связано с включением $C0_2$ в состав известняков, мела, кораллов в виде СаСОд. При этом углерод исключается из круговорота на целые геологические эпохи.

6.3.1.2. Круговорот фосфора

Из всех макроэлементов (элементов, необходимых для всего живого в больших количествах) фосфор — один из самых редких в доступных резервуарах на поверхности Земли. В природе он содержится в различных природных минералах (прежде всего в ряде горных пород) в виде неорганического фосфат-иона (PO|~). Фосфаты растворимы в воде, но не летучи. При разрушении горных пород или выщелачивании атмосферными осадками соединения фосфора растворяются. Далее из водного раствора PO|~ поглощается растениями и включается в состав их органических соединений, выступая в дальнейшем в форме «органического фосфора».

По пищевым цепям фосфор последовательно переходит от растений к организмам всех трофических уровней, и аналогично углероду в каждом из организмов велика вероятность окисления при клеточном дыхании фосфорсодержащего соединения с целью получения необходимой для жизнедеятельности энергии. Если это происходит, то фосфат в составе мочи или ее аналога выводится из организма в окружающую среду, где может снова быть поглощен растениями и вновь запущен в круговорот (рис. 6.5).

Принципиальное различие круговоротов фосфора и углерода состоит в наличии либо отсутствии газовой фазы на одном из этапов цикла. Диоксид углерода в газообразном состоянии, по-

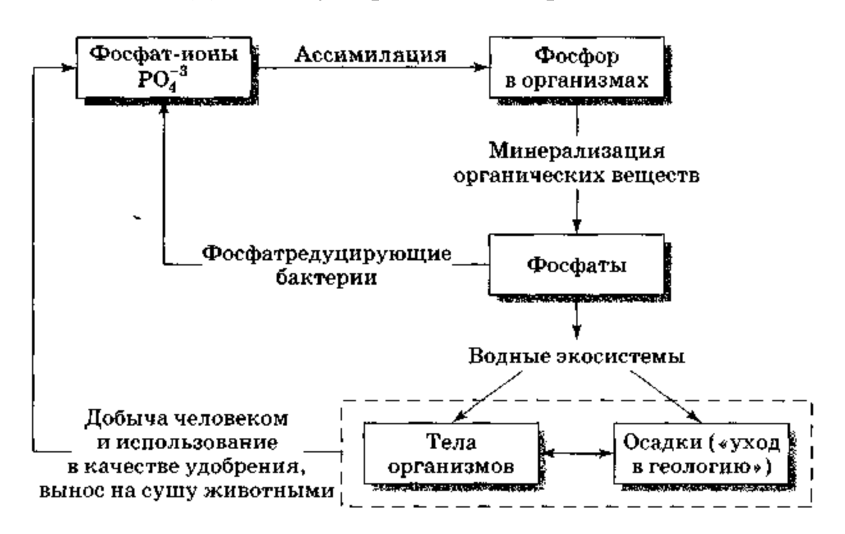


Рис. 6.5. Структурная схема круговорота фосфора

падая в воздух, свободно распространяется в атмосфере, переносясь на неограниченные расстояния, пока снова не будет усвоен растениями. В круговороте фосфора подобного этапа нет.

Попадая со сточными водами в водоемы, фосфат насыщает, а порой перенасыщает их экологические системы. Обратно на сушу фосфор в естественных условиях возвращается практически только с пометом и после гибели рыбоядных птиц. Абсолютное большинство фосфатов образует донные отложения, и круговорот вступает в свою самую замедленную фазу. Лишь геологические процессы, протекающие миллионы лет, реально могут поднять океанические отложения фосфатов, после чего возможно повторное включение фосфора в описанный круговорот.

Фосфор и другие минеральные биогены циркулируют в пределах экосистемы лишь тогда, когда содержащие их «отходы» жизнедеятельности откладываются в местах поглощения соответствующего элемента. В естественных экосистемах преимущественно так и происходит. Однако вмешательство человека, заключающееся в сборе урожая, содержащего извлеченные из почвы биогены, и перемещение его на большие расстояния к местам потребления нарушает круговорот. Отходы жизнедеятельности человека попадают преимущественно в водоемы. Изъятие фосфора из почв полей в современном сельском хозяйстве компенсируется внесением минеральных фосфорных удобрений, получаемых из природных апатитов, главным месторождением которых в нашей стране является Хибинское (Кольский полуостров). Всего в мире ежегодно добывают 1—2 млн т фосфорсодержащих пород.

В результате возникают многообразные отрицательные последствия, разрушающие природные экосистемы, ведущие, в частности, к эвтрофикации водоемов (см. разд. 6.4.2.4).

6.3.1.3. Круговорот азота

Главный источник азота органических соединений — молекулярный азот атмосферного воздуха, но растения не способны усвоить его в газообразном виде. Абсолютному большинству организмов азот доступен только в составе ионов аммония (NHj) или нитрата (NOg). В природных условиях переход азота из газообразного N2 в фиксированную форму (ионы аммония или нитрата) возможен следующим образом:

- при разрядах атмосферного электричества во время грозы из азота и кислорода воздуха синтезируются оксиды азота, которые с дождем в виде азотной кислоты или

иных растворимых нитратов попадают в почву. Фиксация азота возможна и как результат фотохимических реакций в атмосфере. Ежегодная азотфиксация разрядами молний составляет 4—10 кг/га;

- при отмирании особых азотфиксирующих микроорганизмов (отдельных видов бактерий), обладающих уникальной способностью превращать газообразный азот в аммонийную форму, почва обогащается органическим азотом. Ежегодно они дают около 25 кг/га;
- путем эффективной фиксации азота бактериями, живущими в клубеньках бобовых растений и образующими с ними симбиотические связи, что является хорошим примером мутуализма. Растения обеспечивают бактериям местообитание и пищу (сахара), а взамен получают доступную форму азота. Таким путем в наземных и подземных органах растений (например, сои, клевера или люцерны) за год накапливается азота 150—400 кг/га;
- в водной среде и на очень влажной почве азотфиксация происходит благодаря **цианобактериям**[1] (от греч. *kyanos* — синий), способным также и к фотосинтезу. В результате симбиоза от цианобактерий в растения азот попадает в форме нитратов, которые через корни и проводящие пути доставляются к листьям, где используются для синтеза протеинов — основы азотного питания животных.

Таким образом, все естественные экосистемы полностью зависят от азотфиксирующих микроорганизмов (рис. 6.6). Важную роль в наземных экосистемах играют бобовые растения. Это семейство включает в себя огромное число представителей клевера, от обычного для лугов и степей до тропических деревьев и кустарников пустыни. Каждая крупная наземная экосистема имеет характерные для нее виды бобовых. Бобовые обычно первыми заселяют территорию после пожара.

В водных экосистемах круговорот азота происходит аналогичным образом, причем в роли основных азотфиксаторов выступают синезеленые водоросли.

Возврат азота в атмосферу (минерализация) есть результат деятельности бактерий-денитрификаторов, разлагающих ни-

[1] Термин «цианобактерий» преимущественно используется в микробиологии, тогда как в ботанике чаще встречается его синоним «синезеленые водоросли». Эти организмы по строению клеток относятся к прокариотам (содержат хлорофилл) и являются фотосинтетиками. В ископаемом виде они известны с докембрия (более 3 млрд лет назад).

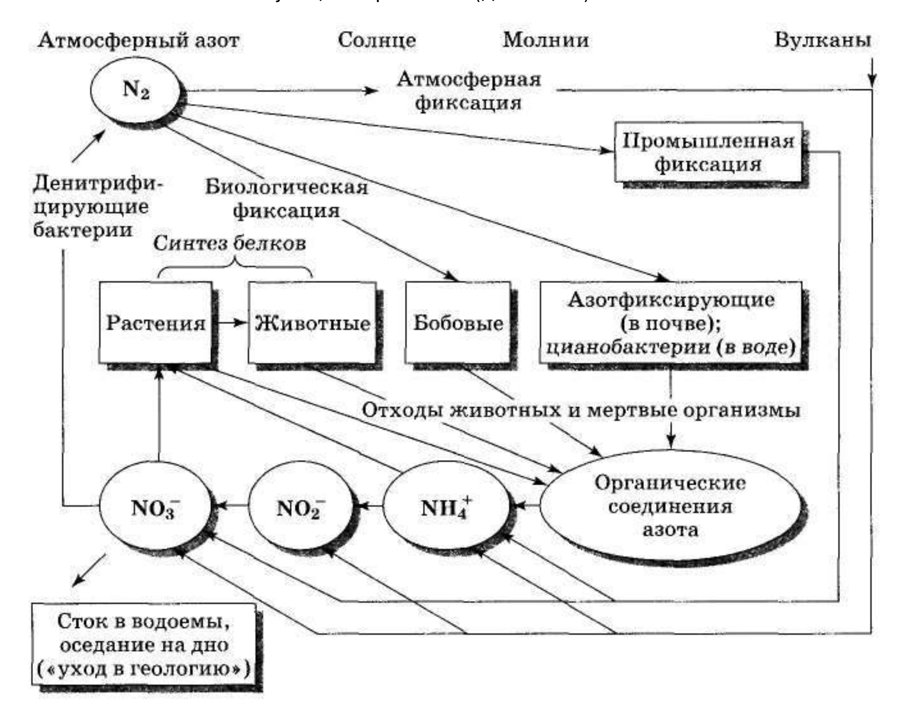


Рис. 6.6. Структурная схема круговорота азота

траты до свободных азота и кислорода. Бактерии-денитрификаторы более разнообразны и многочисленны, чем азотфиксирующие бактерии.

Для поддержания интенсивности круговорота азота при современном земледелии (так же, как круговорота фосфора и прочих биогенов) возникающий недостаток азота в почве искусственно компенсируется внесением синтетических минеральных удобрений, произведенных на азотнотуковых (от русск. *туки* — удобрения) комбинатах. Для удобрения полей естественным путем в сельском хозяйстве успешно используют азотфиксацию бобовыми растениями. Для этого поля периодически засевают соответствующими культурами, а затем их запахивают в почву.

При неразумном применении удобрений на полях избыток нитратов смывается и попадает в водоемы, что способствует их эвтрофикации.

Вещества, не характерные для живых тканей, не имеют естественных (природных) циклов круговорота в экосистемах либо характеризуются очень слабым (малоинтенсивным) кру-

говоротом, потому они имеют тенденцию накапливаться в тканях живых организмов (см. разд. 5.1.3). К подобным веществам относятся, например, радиоактивный стронций-90, некогда существовавший в природе, однако из-за малого периода полураспада к определенному моменту времени полностью исчезнувший в биосфере и вновь появившийся после того, как началось искусственное расщепление атома. Это и пестициды, и диоксины, и многие другие соединения, а также тяжелые металлы (ртуть, кадмий, медь, цинк и др.), интенсивность антропогенного вовлечения которых в естественный круговорот значительно увеличилась.

6.3.2. Гомеостаз экосистемы

Устойчивость и сбалансированность процессов, протекающих в экосистемах, позволяет констатировать, что им в целом свойственно состояние гомеостаза, подобно входящим в их состав популяциям и каждому живому организму. Нестабильность среды обитания в экосистемах компенсируется биоценотическими адаптивными механизмами.

При незначительных нарушениях условий в экосистеме на фоне неизменных средних характеристик среды принципиальная структура биоценоза сохраняется за счет функциональной адаптации. При более существенном нарушении состава биоценоза возникают неустойчивые, сменяющие друг друга сообщества. Этот процесс в идеальном случае ведет к восстановлению исходного типа экосистемы. Экологические сукцессии — одно из наиболее ярких выражений механизма поддержания гомеостаза на уровне экосистемы (см. разд. 6.3.4).

В естественной экосистеме постоянно поддерживается равновесие, исключающее необратимое уничтожение тех или иных звеньев трофической сети. Это является следствием длительного эволюционного процесса, названного Ч. Дарвиным естественным отбором. Любая экосистема всегда сбалансирована и устойчива (гомеостатична), причем системы тем стабильнее во времени и пространстве, чем они сложнее.

Человек постоянно вмешивается в процессы, происходящие в экосистемах, влияя на них в целом и на отдельные звенья, создавая антропогенные помехи. Он все сильнее нарушает природные механизмы контроля или пытается заменять естественные механизмы на искусственные.

6.3.3. Суточные и сезонные ритмичные изменения

Практически каждая экологическая система приспособлена к ритмическим изменениям абиотических факторов. Реакция выражается в изменении активности биоценозов и преимущественно связана с суточными и сезонными изменениями условий среды обитания. Характерно, что при такой динамике сохраняются принципиальные свойства экосистемы, в том числе целостность и функциональная устойчивость. Даже сезонные изменения видового состава не нарушают общую характеристику каждой данной экосистемы, ибо закономерно повторяются каждый год.

Суточные изменения. В течение суток не происходит принципиальных изменений видового состава и основных форм взаимоотношений в биоценозах, поэтому более точно следует говорить не о суточной динамике, а об аспектах суточной активности. Суточная активность прежде всего определяется изменением солнечной освещенности.

Сезонные изменения. Они затрагивают фундаментальные характеристики экосистем, в первую очередь видовой состав и продуктивность биоценозов. В неблагоприятные сезоны ряд видов мигрирует в районы с лучшими условиями существования. Это характерно для перелетных птиц, ряда копытных млекопитающих и др. Оседлые виды составляют ядро биоценоза, а сезонные виды определяют его облик и биоценотические связи в отдельные периоды. Во всех случаях уменьшение числа активных видов влечет снижение интенсивности круговорота биогенов.

6.3.4. Сукцессия

Динамика экосистемы определяется серией сменяющих друг друга сообществ.

Экологическая сукцессия (от лат. *successio* — преемственность, наследование), **сукцессионное замещение** или **биологическое развитие** — развитие, при котором в пределах одной и той же территории (биотопа) происходит последовательная смена одного биоценоза другим в направлении повышения устойчивости экосистемы;

Сукцессионный ряд — цепь сменяющих друг друга биоценозов. Процессы сукцессии занимают определенные промежутки времени. Чаще всего это — годы и десятки лет, но встречаются и очень быстрые смены сообществ, например, во

временных водоемах, и очень медленные — вековые изменения экосистем, связанные с эволюцией на Земле.

Сукцессия завершается формированием сообщества, наиболее адаптированного по отношению к комплексу сложившихся климатических условий. Такое сообщество было названо Ф. Клементсом климакс-формацией или просто **климаксом** (от греч. *klimax* — лестница), хотя в современной литературе по экологии иногда встречается и другой термин-синоним — **зрелое сообщество.** Концепция «климакса» подразумевает, что в пределах региона с более или менее однородным климатом фитоценозы, завершившие сукцессионныи процесс, образуют климаксные сообщества независимо от того, с какого типа начиналась сукцессия.

Причиной начала процесса сукцессии в ряде случаев являются изменения фундаментальных свойств среды обитания, возникающие под влиянием комплекса факторов. Такие факторы бывают естественными — отступление ледников, наводнения, землетрясения, извержения вулканов, пожары, а также антропогенными — расчистка лесных угодий, распашка участков степи, открытая добыча полезных ископаемых, создание прудов и водохранилищ, пожары, загрязнение экологических систем.

В зависимости от обстоятельств, предшествовавших началу процесса, сукцессии подразделяют на следующие:

- антропогенные, вызванные хозяйственной деятельностью человека, в том числе лаборогенные, связанные с трудовой деятельностью;
- катастрофические, связанные с какими-либо катастрофическими для экосистемы природными или антропогенными факторами;
- пирогенные, вызванные пожаром независимо от его причин;
- зоогенные (фитогенные), вызванные необычно сильным воздействием животных (растительности), как правило, в результате их массового размножения (завоза чуждых видов человеком).

По общему характеру сукцессии делят на первичные и вторичные.

Первичные сукцессии. Они начинаются на **субстрате**[1]**,** не измененном (или почти не измененном) деятельностью жи-

[1] Субстрат — опорный экологический компонент, например, почва, грунт водоема, толща воды (для планктона).

вых организмов. Так, через серию промежуточных сообществ формируются устойчивые сообщества на скалах, песках, обрывах, остывшей вулканической лаве, глинах после отступления ледника или прохождения селя и т. п. Одна из основных функций сукцессии такого рода — постепенное накопление органических остатков и, как результат, создание (или изменение) почвы первичными колонистами. Далее меняется гидрологический режим и происходят прочие изменения местообитания. Первичная сукцессия от голой скальной породы к зрелому лесу может занять от нескольких сотен до тысяч лет.

Вторичные сукцессии. Они развиваются на субстрате, первоначально измененном деятельностью комплекса живых организмов, существовавших на данном месте ранее — до пожара, наводнения, вырубки и т. п. В таких местах обычно почва или донные отложения не уничтожены, т. е. сохраняются богатые жизненные ресурсы и сукцессии чаще всего бывают восстановительными (рис. 6.7). Здесь в почве могут сохраняться семена, споры и органы вегетативного размножения, например корневища, которые будут влиять на сукцессию.

Смена фаз сукцессии идет в соответствии с определенными правилами. Каждая предыдущая фаза готовит среду для возникновения последующей, постепенно нарастают видовое многообразие и ярусность. Вслед за растениями в сукцессию вовлекаются представители животного мира, а развивающийся биоценоз становится более богатым видами; цепи питания в нем усложняются, развиваются и превращаются в сети пита-

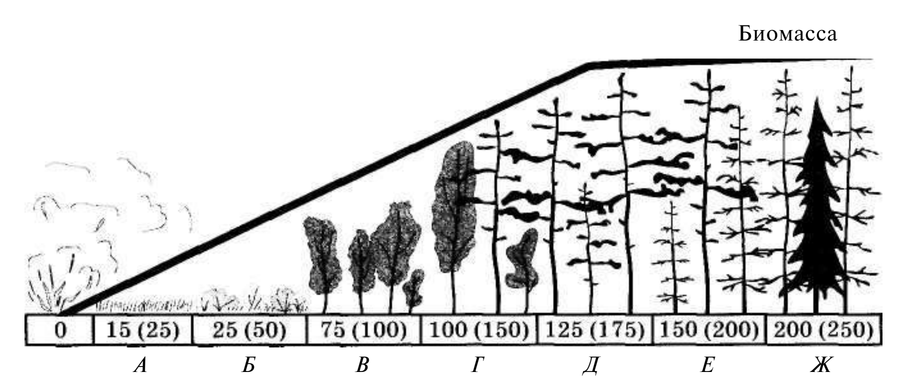


Рис. 6.7. Фазы типичной наземной сукцессии (по *Н. Ф. Рейжерсу*): *А* — вейниковский луг; *Б* — зарастание кустарниками; *В* — березовый или осиновый лес; *Г* — смешанный лес; *Д* — сосновый лес; *Е* — сосново-кедровый лес; Ж — кедрово-пихтовый лес

ния. Активизируется деятельность редуцентов, возвращающих органическое вещество из почвы в состав биомассы, ее объем неуклонно растет. Процесс практически прекращается, когда добавление или исключение видов не приводит к изменению среды развивающейся экосистемы.

Деградационные сукцессии. Это специфическая форма смены сообществ, заключающаяся в последовательном использовании различными видами разлагающейся органики. Особенностями таких сукцессии является то, что сообщества состоят только из гетеротрофных организмов, а ход сукцессии направлен в сторону все большего структурного и химического упрощения скоплений органического вещества.

Вековые смены экосистем. Сукцессии такого масштаба отражают историю развития жизни на Земле. Наглядным примером исторической смены экосистем служат изменения сообществ растений и животных по мере отступления ледников после крупных оледенений. Другой хорошо изученный пример — формирование современных типов экосистем на территории Каракумов по мере отступления древнего Арало-Каспийского моря.

В случаях, когда в процессе эволюции под действием естественного отбора вымирают целые виды, а выжившие особи других размножаются, адаптируются и изменяются, говорят об *эволюционной сукцессии.*

Общие закономерности сукцессии. Изменения в общей продуктивности, дыхании и биомассе в ходе типичной сукцессии показаны на рис. 6.8. По мере прохождения фаз сукцессии все большая доля доступных питательных веществ накапливается в биомассе сообщества и соответственно уменьшается их содержание в абиотической части экосистемы (биотопе). По мере возрастания количества образующегося детрита он становится основным источником питания. В результате роль пастбищных цепей становится менее существенной, а детрит - ных — усиливается.

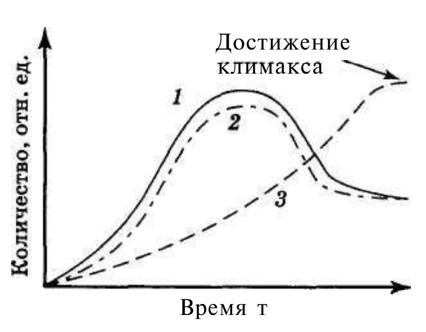


Рис. 6.8. Изменения общей продуктивности, дыхания и биомассы в ходе типичной сукцессии (по *М. Трайбу, М. Эренту, Р. Снуку): 1* — энергия, выраженная через общую продуктивность; *2* — потери энергии при дыхании, *3* — биомасса

Когда экосистема приближается к состоянию климакса, в ней, как и в любых равновесных системах, происходит замедление всех процессов развития.

Биогеохимические круговороты любых экосистем замкнуты не полностью, однако степень незамкнутости варьируется в очень больших пределах. Ф. Борманн и Г. Патэн в 1979 г. установили, что примерно за 10 лет с момента начала восстановления растительного покрова разомкнутость круговоротов уменьшается со 100 до 10%, а далее снижается еще более, достигая минимума в климаксе. В этом заключается *правило увеличения замкнутости биогеохимического круговорота веществ в ходе сукцессии.* Антропогенная трансформация растительности и экосистем в целом нарушает сформулированное правило, что ведет к многочисленной череде аномалий в природной среде.

Снижение разнообразия видов в климаксе на первый взгляд противоречит рассмотренному стремлению к биоразнообразию в природе. Однако именно разнообразие видов формирует сукцессию и ее направление, обеспечивает заполнение реального пространства жизнью.

Там, где разнообразие видов недостаточно для нормального естественного хода сукцессионного процесса, а среда обитания резко нарушена — сукцессия не достигает фазы климакса.

Важное практическое значение имеет *правило сукцессионного мониторинга* (индикации состояния среды):

! чем глубже нарушенность среды какого-нибудь пространства, тем на более ранних фазах оканчивается сукцессия.

Так, в районе Москвы почвенно-климатические условия соответствуют развитию биогеоценозов дубовых лесов, господствовавших здесь до XV—XVIII вв. Вырубка лесов и хозяйственное освоение территорий привели к появлению на их месте обедненных биогеоценозов березово-осиновых и еловых лесов.

6.3.5. Жизнь как термодинамический процесс

Химические превращения в природе и все биологические процессы в экосистемах подчиняются законам термодинамики. Согласно первому закону, называемому *законом сохранения энергии,* для любого химического процесса общая энергия в замкнутой системе всегда остается постоянной.

Энергия не создается заново и никуда не исчезает. Свет как одна из форм энергии может быть превращен в работу, теплоту или потенциальную энергию химических веществ пищи. Из этого следует, что если какая-либо система (как неживая, так и живая) получает или затрачивает энергию, то такое же количество энергии должно быть изъято из окружающей ее среды. Энергия может лишь перераспределяться либо переходить в другую форму в зависимости от ситуации, но при этом она не может возникнуть ниоткуда или бесследно исчезнуть.

Согласно втором у закону термодинамики, называемому *законом энтропии,* процессы, связанные с превращением энергии, могут происходить самопроизвольно только при условии, что энергия переходит из концентрированной формы в рассеянную (деградирует). И действительно, теплота не передается самопроизвольно от более холодного тела к более горячему (хотя первый закон такой переход не запрещает!). В природе масса примеров однонаправленных процессов: газы перемешиваются в сосуде, но сами не разделяются; кусок сахара растворяется в воде, но не выделяется обратно в виде куска.

Мерой количества связанной энергии, которая становится недоступной для использования, является **энтропия**[1] (от греч. *en* — в, внутрь, *trope* — поворот, превращение). В замкнутых системах энтропия (S) не может убывать; ее изменение (AS) или равно нулю (при обратимых процессах) или больше нуля (при необратимых процессах). Система и ее окружение, предоставленные сами себе, стремятся к состоянию максимальной энтропии (неупорядоченности); таким образом, самопроизвольные процессы идут в сторону увеличения беспорядка. Второй закон термодинамики можно сформулировать иначе: поскольку некоторая часть энергии всегда рассеивается в виде не доступных для использования тепловых потерь энергии, эффективность превращения энергии света в потенциальную энергию химических соединений всегда меньше 100% .

Согласно третьему закону термодинамики, при стремлении абсолютной температуры простых кристаллических тел к нулю абсолютное значение их энтропии также стремится к нулю.

[1] Энтропия определяется количеством теплоты, необходимой для изменения температуры от абсолютного нуля (максимальная упорядоченность) до наблюдаемой температуры, определяемой по шкале Кельвина.

Энергия характеризуется не только ее количеством, но и качеством. Чем более «концентрирован» энергетический поток, тем выше его качество — способность превращаться в другую форму энергии (или соотношение части энергии, способной сконцентрироваться, и рассеиваемой части энергии). В пищевой цепи и цепи получения электроэнергии (рис. 6.9), включающей этап фоссилизации[1], количество энергии всегда уменьшается, а ее качество — увеличивается.

Важнейшая особенность живых организмов, экосистем и биосферы в целом — это способность создавать и поддерживать высокую степень внутренней упорядоченности, т. е. состояние

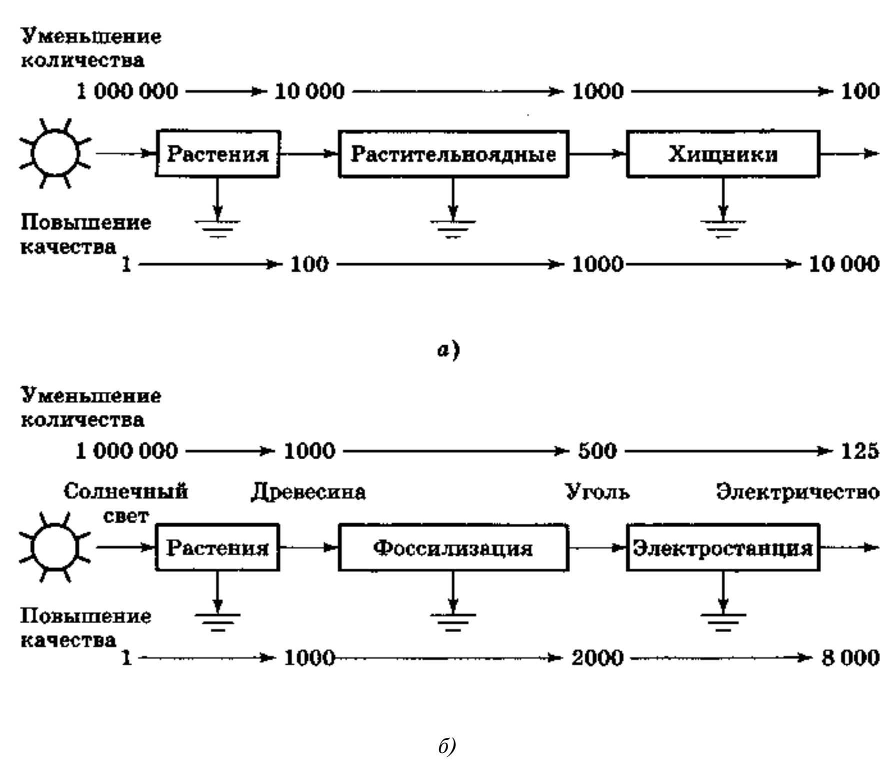


Рис. 6.9. Схема повышения качества и снижения количества энергии, идущей от Солнца, при ее преобразовании в пищевой цепи *(а)* и цепи получения электроэнергии *(б)* (по *Г. Одуму, Э. Одуму, Ю. Одуму).* Цифры — любые относительные единицы

[1] Фоссилизация (от лат. *fossilis* — ископаемый) — процесс превращения останков вымерших животных и растений в окаменелости путем замещения органических веществ минеральными.

с низкой энтропией. Следовательно, экосистемы и организмы представляют собой открытые неравновесные термодинамические системы, которые постоянно обмениваются с окружающей средой энергией и веществом, уменьшая этим энтропию внутри себя, но увеличивая ее вовне в соответствии с законами термодинамики.

Все разнообразие проявлений жизни сопровождается превращениями энергии без ее возникновения или исчезновения. Суть жизни состоит в непрерывной последовательности таких изменений, как рост, самовоспроизведение и синтез сложных химических соединений.

Экология, по сути, изучает способы превращения энергии внутри экосистем.

Внутри Солнца происходят термоядерные реакции (аналогичные реакции протекают при взрыве водородной бомбы). Энергия этих реакций переходит в энергию света, т.е. энергию квантов излучения, испускаемого Солнцем.

Из Космоса на Землю (к верхней границе атмосферы) поступает солнечный свет с энергией 5 МДж*м$^{-2}$'ч$^{-1}$ (1360 Вт • м$^{-2}$, или 2 кал • см$^{-2}$ • мин$^{-1}$ — солнечная постоянная), создавая освещенность 140 000 лк. Однако при прохождении через атмосферу он становится слабее. Попадая на почву, воду и прочие компоненты косной природы (табл. 6.2), солнечный свет нагревает их и таким образом преобразуется в теплоту, рассеивающуюся в конце концов в космическом пространстве.

Зеленые растения преобразуют энергию фотонов солнечного света в энергию химических связей сложных органических соединений, которые продолжают свой путь по разветвленным пищевым сетям природных экосистем. Однако в некоторых местах (например, на болотах, в устьях рек и морях) часть органических растительных веществ, попав на дно, покрывается песком раньше, чем станет пищей для животных или микроорганизмов. При наличии определенной температуры и давления грунтовых пород в течение тысяч и миллионов лет из органических веществ образуются уголь, нефть и прочее ископаемое топливо или, по выражению В. И. Вернадского, «живое вещество уходит в геологию».

В XIX и особенно в XX вв. эти запасы разрабатывали и использовали для удовлетворения потребностей человека так интенсивно, что близко и удобно расположенные залежи стали исчерпываться, а поиски новых месторождений завели далеко в море, в отдаленные районы Сибири и Крайнего Севера. Не

случайно преобразование энергии горючего, атомной энергии и других форм концентрированной энергии в современном индустриальном обществе, а также возникающие экологические проблемы привлекают особое внимание.

Таблица 6.2

Потоки энергии у земной поверхности
(по В. Г. Горшкову)

Энергетический поток	**Мощность, ТВт***
Солнечная радиация	
Поглощение атмосферой и земной поверхностью	**100 000**
Поглощение океаном	**80 000**
Расход на испарение в атмосфере	**40 000**
Турбулентные потоки тепла	**10 000**
Перенос теплоты с экватора к полюсам:	
атмосферой	**10 000**
океаном	**2000**
Поглощение сушей	**20 000**
Испарение:	
сушей (эвакотранспирация)	**5000**
растениями (транспирация)	**3000**
Ветер	**2000**
Океанские волны	1000
Фотосинтез	100
Гравитационная энергия падения всех осадков	100
Энергия рек	**3**
Другие виды энергии	
Геотермальная	**30**
Вулканов и гейзеров	**0,3**
Приливов океанов	**1**
Лунного света, падающего на поверхность Земли	**0,5**
Света, падающего на Землю от всех звезд	0,001
Современное мировое энергопотребление человечества	**10**

* ТВт = 10^{12} Вт.

Таким образом, жизнь представляет собой процесс непрерывного извлечения некоторой системой энергии из окружающей среды, преобразования и рассеивания этой энергии при

передаче ее по пищевым цепям. Человеческая цивилизация — это лишь одно из замечательных явлений природы, всецело зависящее от постоянного притока концентрированной энергии.

Для биосферы допустимо потребление на какие-либо иные (кроме собственных) нужды не более 1% от ее общей первичной продукции[1].

Как только человечество на грани XIX и XX вв. стало использовать большее количество[2], так, вероятно, с величины 0,5% от общей энергетики биосферы прекратилось действие компенсационного механизма на основе принципа Ле Шателье—Брауна: растительность прекратила давать прирост биомассы, пропорциональный увеличению концентрации $C0_2$ в атмосфере, и т. д.

Ориентировочный порог потребления 5—10% от суммы веществ, приводящий при переходе через него к заметным изменениям в природных системах, достаточно признан, хотя принят преимущественно на эмпирико-интуитивном уровне. Считается, что для природных систем при внесении в них возмущения на уровне 1% (правило 1%) от общего потока энергии, проходящего через систему, находится порог выхода системы из стационарного состояния, а на уровне 10% — порог саморазрушения системы.

Особое значение имеет момент «выхода из стационарного состояния». Для глобальной энергетической системы (коей является биосфера) этот процесс, по мнению Н. Ф. Реймерса, начинается от привнесения возмущений на уровне 0,1—0,2% от величины общепланетарных процессов, т. е. намного раньше, чем наступает момент сбоя в действии принципа Ле Шателье—Брауна, и происходят заметные природные аномалии. Так, существенный рост опустынивания отмечен еще в прошлом веке, а влияние деятельности человека на глобальные климатические процессы за последние двести лет окончательно доказано лишь к концу второго тысячелетия.

[1] Это также следует и из закона Р. Линдемана: около 1% чистой первичной продукции в энергетическом выражении потребляют позвоночные животные как консументы высших порядков, около 10% — беспозвоночные как консументы низших порядков и оставшуюся часть — бактерии и грибы-сапрофаги.

[2] По данным Н. Ф. Реймерса, сейчас не менее 10%, а по расчетам В. Г. Горшкова (1980) человечество берет на себя, в свой «антропогенный канал», энергии не менее $1{,}6 \cdot 10^{13}$ Вт/г., или до 20% продукции всей биосферы.

6.4. Основные экосистемы Земли и их особенности

Вся область распространения жизни на Земле состоит из нескольких основных наземных экосистем (биомов) — пустынных, травянистых и лесных, а также водных (озер, рек и океанов). Каждой экосистеме присущи типичные сообщества растений и животных, а также редуцентов, приспособленных к определенным условиям окружающей среды, главным образом к климатическим особенностям.

6.4.1. Наземные экосистемы

При классификации наземных экосистем принято использовать признаки растительных сообществ и климатические признаки, например, лес хвойный, лес тропический, холодная пустыня и т. п.

6.4.1.1. Пустыни

Пустыня — это территория, где испарение превышает количество осадков, причем их уровень составляет менее 250 мм/г. В таких условиях произрастает скудная, разреженная и обычно низкорослая растительность. Преобладание ясной погоды и разреженная растительность способствуют быстрой потере теплоты ночью, накопленной почвой днем. Для пустыней характерно значительное различие между дневной и ночной температурами. Пустынные экосистемы занимают около 16% поверхности суши и расположены практически во всех широтах Земли.

Тропические пустыни. Это такие пустыни, как Южная Сахара, которые составляют около 20% общей площади пустынь. Температура там круглый год высокая, а количество осадков минимальное.

Пустыни умеренных широт. Такие пустыни, как пустыня Мохаве в Южной Калифорнии, отличаются высокими дневными температурами летом и низкими — зимой.

Холодные пустыни. Для них характерна очень низкая температура зимой и средняя — летом.

Растения и животные всех пустынь приспособлены улавливать и сохранять дефицитную влагу.

Медленный рост растений и малое видовое разнообразие делают пустыни весьма уязвимыми. Уничтожение растительности в результате выпаса или езды вне дорог ведет к тому, что на восстановление утраченного требуются десятилетия.

6.4.1.2. Травянистые экосистемы

Тропические травянистые экосистемы или саванны. Такие экосистемы характерны для районов с высокими средними температурами, двумя продолжительными сухими сезонами и обильными осадками в остальное время года. Они образуют широкие полосы по обе стороны экватора. Некоторые из этих биомов (например, равнина Серенгети в Африке) представляют собой открытое пространство, покрытое только травянистой растительностью.

Травянистые экосистемы умеренных широт. Они встречаются во внутренних районах материков, главным образом Северной и Южной Америки, Европы и Азии. Основные типы травянистых сообществ умеренного пояса: высокотравные и низкотравные *прерии* США и Канады, *пампы* Южной Америки, *вельды* Южной Африки и *степи* от Центральной Европы до Сибири. В этих экосистемах (биомах) почти постоянно дуют ветры, способствуя испарению влаги. Густая сеть корней травянистых растений обеспечивает стабильность почвы до тех пор, пока не начинается ее распашка. Из-за высокого плодородия почв высокотравных прерий большая их часть была распахана и занята посевами зерновых и бобовых. В 30-е годы XX в. нерациональное землепользование и периодические длительные засухи привели к сильной эрозии почв и сносу пахотного горизонта, известному как «пыльные бури».

Полярные травянистые экосистемы или **арктические тундры.** Они расположены в районах, прилегающих к арктическим ледяным пустыням. Большую часть года тундры находятся под воздействием штормовых холодных ветров и покрыты снегом и льдом. Зимы здесь очень холодные и темные. Осадков немного, и выпадают они в основном в виде снега.

Люди проживают в суровых условиях тундры крайне редко, однако обнаруженные в последнее время запасы нефти и газа обусловливают интенсивное антропогенное воздействие на окружающую природную среду тундры. Медленное разложение органических веществ, малая мощность почвы, низкие темпы прироста растительности делают арктическую тундру одной из наиболее уязвимых экологических систем земного шара.

6.4.1.3. Лесные экосистемы

Влажные тропические леса. Эти леса располагаются в ряде приэкваториальных районов. Они характеризуются умеренно высокими среднегодовыми температурами, которые мало изменяются в течение суток и по сезонам, а также значительной влажностью и почти ежедневно выпадающими осадками. В таких биомах доминируют вечнозеленые деревья, сохраняющие большую часть листьев или хвои круглый год, что обеспечивает непрерывное круглогодичное протекание процессов фотосинтеза.

Так как климатические условия во влажных тропических лесах практически неизменны, влага и теплота не имеют лимитирующего значения, как в других экосистемах. Основным лимитирующим фактором становится содержание биогенов в часто бедных органическим веществом почвах.

Зрелый влажный лес имеет максимальное (из всех наземных экосистем) удельное разнообразие видов растений и животных на единицу площади. Большая часть питательных веществ в этой экосистеме сосредоточена в растительном покрове, а не в верхнем горизонте почв, как в большинстве других биомов. Кроме того, при уничтожении растительности маломощные почвы легко сносятся ливневыми дождями. Таким образом, восстановление первичного тропического леса на обширных вырубках практически невозможно.

Листопадные леса умеренных широт. Они произрастают в районах с невысокими средними температурами, значительно меняющимися по сезонам. Зимы здесь не очень суровы, летний период про дол лейте лен, осадки выпадают равномерно в течение всего года. По сравнению с тропическими леса умеренного пояса быстро восстанавливаются после вырубки и, следовательно, более устойчивы к антропогенным нарушениям.

Северные хвойные леса. Эти леса, называемые также бореальными, или тайгой, распространены в районах субарктического климата. Зимы здесь продолжительны и засушливы, с коротким световым днем и небольшими снегопадами. Температурные условия меняются от прохладных до исключительно холодных. В тайге добывают значительную часть деловой древесины, большое значение имеет промысел пушнины.

Особенности круговорота питательных веществ в лесах разных широт. Круговорот биогенов в холодных районах и тропиках, особенно влажных, существенно различен. У первых большая часть органических веществ и доступных элемен-

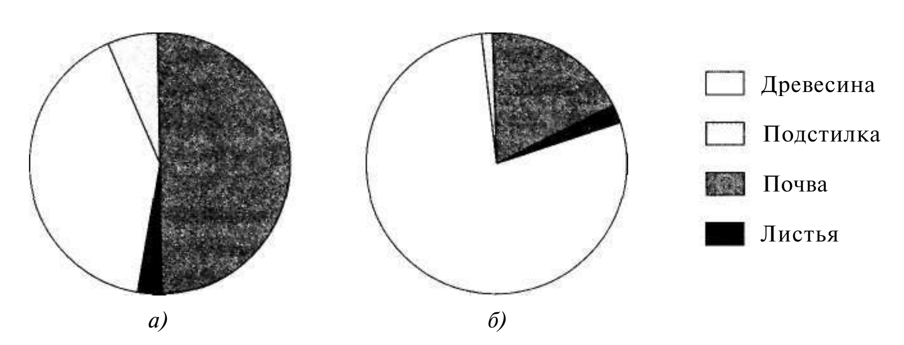


Рис. 6.10. Распределение органического углерода в частях экосистем северного (а) и тропического (б) лесов (по *Ю. Одуму)*

тов питания постоянно находится в почве или в отложениях, а у вторых значительная часть содержится в биомассе и циркулирует в биоценозе благодаря мутуалистическим отношениям между микроорганизмами и растениями. Сравнение распределения органических веществ в лесах различных широт в пересчете на органический углерод приведено на рис. 6.10.

При вырубке леса в умеренном или северном поясе (рис. 6.10, *а)* в почве остаются биогены, сохраняется ее структура, и на освобожденной площади многие годы можно получать урожай однолетних культур, проводя вспашку и внося неорганические удобрения. Низкие зимние температуры способствуют удержанию элементов питания в почве и уничтожению «вредителей» и «паразитов».

Напротив, влажные тропические леса (рис. 6.10, *б)* после вырубки теряют способность удерживать питательные вещества и поддерживать их циркуляцию в экосистеме, изначально обеспечивавшей «прямой круговорот» от растения к растению, в значительной степени минуя почву.

6.4.2. Водные экосистемы

Тип и количество организмов в водных экосистемах определяются соленостью, глубиной проникновения солнечных лучей, концентрацией растворенного кислорода, доступностью биогенов и температурой. Интенсивность потока солнечного света, необходимого для фотосинтеза, зависит от глубины водоема, следовательно, обилие растительных организмов также меняется с глубиной. В отличие от наземных экосистем

в водных экосистемах организмы, нуждающиеся в кислороде, обитают преимущественно вблизи поверхности воды.

Наибольшей продуктивностью отличаются прибрежные водные экосистемы в связи с поступлением помимо потока биогенов из донных отложений также дополнительного потока, приходящего со стоком с суши. В глубоководных районах продуктивность растительных организмов ограничена недостатком биогенов, концентрирующихся на дне.

6.4.2.1. Биоценоз водной экосистемы

Водные экологические системы имеют ряд принципиальных отличий от наземных, наиболее значимые из них следующие:

- во-первых, продуценты наземных экосистем — растения — неразрывно связаны корневой системой с биогенным фондом, формирующимся в результате жизнедеятельности растений. Продуценты водных экосистем — водоросли — разобщены с основным биогенным фондом, формирующимся около дна, будь то океан, озеро, водохранилище или пруд. В освещенном слое, составляющем при самой высокой прозрачности не более нескольких десятков метров, недостаточно биогенных солей и прежде всего фосфатов, что служит лимитирующим фактором развития живых организмов;
- во-вторых, в наземных экосистемах растения — важнейший компонент питания многих животных, в результате чего распространение последних связано с растительными сообществами. В морской среде животные (консументы) и поля фитопланктона (продуценты) разобщены. В большинстве водных биоценозов нет прямого контакта животных с живой растительностью, сосредоточенной в тонком приповерхностном слое. Масса животных живет ниже массы растений, используя продукты деструкции растительных организмов. Таким образом, в жизни водных биоценозов важнейшую роль играет группа редуцентов, которые, минерализуя эти останки, делают их доступными для автотрофных растений. С глубиной количество пищи уменьшается.

По способу перемещения водные организмы делят прежде всего на планктон, бентос и нектон. По характеру вертикаль-

ного распределения в грунте среди животных бентоса выделяют **эпифауну** — организмы, прикрепленные к грунту или передвигающиеся по нему, и **инфауну** — организмы, живущие в толще грунта. Животные бентоса (дна) живут на глубинах до нескольких тысяч метров. Многие виды, живущие на глубинах до 250 м, представляют собой большую хозяйственную ценность для человека; это мидии, устрицы, лангусты, омары.

6.4.2.2. Экосистемы Мирового океана

Океаны играют важную климатообразующую роль, перераспределяя солнечную энергию за счет испарения воды и перемещения нагретой воды с океаническими течениями. Они участвуют в других глобальных биогеохимических круговоротах в природе и являются гигантскими «резервуарами» диоксида углерода. Океан — яркий пример биогеоценоза.

К основным характеристикам экосистем Мирового океана относят:

- глобальность размеров и огромные глубины, освоенные жизнью;
- непрерывность — все океаны связаны между собой;
- постоянную циркуляцию среды под действием сильных ветров, дующих в течение года в одном и том же направлении, а также наличие глубинных течений;
- господство различных волн и приливов, вызванных притяжением Луны и Солнца;
- соленость и устойчивая во времени однородность основного солевого состава;
- наличие растворенных биогенных элементов.

Прибрежная зона океана. Это — относительно теплые, богатые биогенами мелководья, протянувшиеся от линии прилива на суше до края подводного продолжения континента — **континентального шельфа** (рис. 6.11).

В прибрежной зоне, занимающей менее 10% общей площади океана, сосредоточено 90% биомассы океанических растений и животных; здесь находится большинство районов промышленного рыболовства. Прибрежную зону подразделяют на несколько местообитаний.

Эстуарии — это часть прибрежной зоны, где пресные воды рек, ручьев и поверхностного стока смешиваются с солеными морскими водами. В эстуариях так же, как и во влажных тропических лесах и во внутренних болотных экосистемах, еже-



Рис. 6.11. Основные зоны жизни в океанической прибрежной экосистеме (реальные глубины зон могут изменяться)

годная удельная продукция биомассы максимальна в сравнении с любыми другими экосистемами планеты.

Коралловые рифы распространены в прибрежных зонах океана в тропических и субтропических широтах, где температура воды превышает 20 °С. Они в основном состоят из нерастворимых соединений кальция, выделяемых животными — кораллами, а также красными и зелеными водорослями при фотосинтезе. Разнообразие и сложное строение коралловых рифов привели к тому, что в них обитает более трети всех видов морских рыб и многочисленные другие морские организмы. Считают, что коралловые рифы играют особую роль в поддержании солевого состава океанических вод.

Открытый океан. Он отделяется от прибрежной зоны областью резкого увеличения глубин у края континентального шельфа. На его долю приходится только 10% биомассы океанических растений и животных, и безбрежные просторы глубоководья можно считать полупустынными. Однако благодаря огромной протяженности открытый океан — это основной поставщик чистой первичной биологической продукции на Земле.

В пределах открытого океана выделяют три зоны, основным различием которых является глубина проникновения солнечных лучей (рис. 6.11).

6.4.2.3. Экосистемы континентальных стоячих водоемов

Континентальные стоячие (непроточные) водоемы включают в себя экосистемы озер, водохранилищ, прудов, луж, а также болот. Жизнь стоячих вод или **лентической среды** (от лат. *lentus* — спокойный) зависит от площади поверхности и глубины водоема, региональных климатических условий и химического состава воды.

Озера. На дне озер различают последовательную смену концентрических зон (рис. 6.12), а также две группы жизненных форм растений: бентосную и фитопланктонную.

Бентосные растения. Они развиваются, прикрепившись или укоренившись на дне. Эту группу также называют погруженной водной растительностью. Они выживают в бедной биогенами воде, так как получают необходимые элементы из донных отложений, однако нуждаются в проникновении сквозь толщу воды достаточного для фотосинтеза количества солнечного света.

Фитопланктон. Фитопланктон (планктон) состоит из множества видов водорослей и представляет собой отдельные клетки, их скопления или «нити», которые держатся вблизи

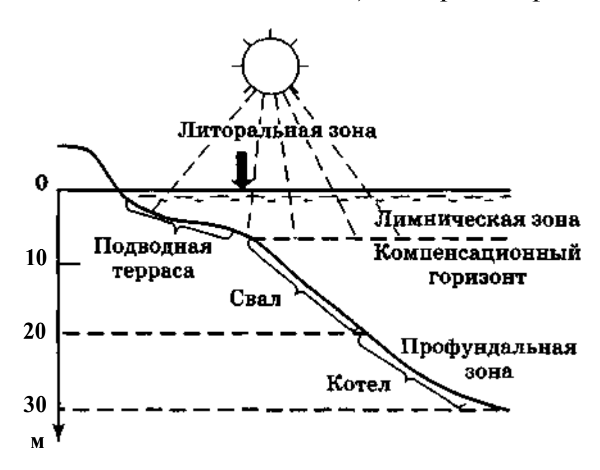


Рис. 6.12. Главные зоны в экосистеме непроточного континентального водоема (по *Ю. Одуму);* глубины указаны ориентировочно

поверхности воды или прямо на ней. Очевидно, что мутная вода мало на них влияет, их большое количество является важнейшей причиной помутнения. Фитопланктон не связан с дном, поэтому должен получать биогены из воды. При недостатке в воде биогенов его развитие замедляется.

Болота. Это участки суши, покрытые в определенные периоды времени небольшим слоем воды и более или менее высыхающие в другое время. Согласно другому определению, болото — переувлажненный участок поверхности земли, характеризующийся накоплением в верхних горизонтах мертвых неразложившихся растительных остатков, превращающихся затем в торф. При слое влажного торфа более 0,3 м — болото, менее 0,3 м — заболоченные земли.

Болота умеренных и высоких широт — это своеобразные «ловушки» органического углерода, в которых происходит его накопление и захоронение в виде неполностью разложившихся остатков растительности, образующих торф. Переувлажненные земли более характерны для тропических районов, и торф в них не накапливается.

Болота, расположенные вдоль русел рек и особенно в устьях, во время паводков принимают избыточную воду, обогащенную илом и биогенами. При движении воды по болотам ил и связанные с ним биогены оседают, а вода очищается по мере просачивания в грунтовые воды. Таким образом, *важнейшей ролью болот является фильтрация воды* перед тем, как она попадает в озера, заливы, эстуарии, грунтовые воды.

Болота, обогащенные биогенами, представляют собой самые продуктивные экосистемы, в которых обитают стаи водной дичи и многие другие животные. Общая площадь болот и переувлажненных земель на планете составляет примерно 3 млн км^2. Больше всего болот в Южной Америке (почти половина) и Евразии, совсем мало — в Австралии. Болота и заболоченные территории есть во всех географических зонах, но особенно много их в тайге. В нашей стране болота занимают около 9,5% территории, причем особую ценность представляют торфяные болота, аккумулирующие в себе значительные запасы теплоты.

Болота не пригодны для сельского хозяйства, строительства, судоходства. Поэтому «бросовые земли» длительное время пытались «улучшать», что привело к многим ошибкам как в нашей стране, так и во многих других странах. Резюмируя мировой опыт использования болот, Ю. Одум пришел к выводу, что их в большинстве случаев выгоднее применять не для сельского хозяйства, а для хранения воды и местообитания диких животных.

6.4.2.4. Эвтрофикация водоемов

Качественный и количественный состав биоценоза и особенности питания (степень трофности) в озере обусловливаются химическим составом воды.

Олиготрофные озера (от греч. *oligos* — незначительный, бедный, *trophe* — питание, пища). Их воды бедны минеральным азотом и особенно фосфором, встречающимся в виде следов. Благодаря низкой плотности биоценоза в воде присутствует много кислорода (рис. 6.13, *а),* а содержание $C0_2$ невелико, вследствие чего, в частности, отмечается нерастворимость соединений железа. Вода прозрачная, синего или зеленого цвета. К такому типу относят глубокие озера с песчаными берегами.

Кислород из атмосферы растворяется в воде крайне медленно. Следовательно, бентосные растения не только обеспечивают пищу и убежище водным животным, но и поддерживают необходимую концентрацию растворенного 0_2 на глубине, выделяя его непосредственно в воду. В результате в водоеме, обедненном питательными элементами, может существовать богатый, разнообразный биоценоз из рыб, моллюсков и бентосных растений, которыми они питаются.

Эвтрофные озера (от греч. *ей* — хорошо). Их воды богаты азотом и фосфором. Обилие организмов ведет к истощению кислорода в глубинных слоях во время фаз застоя (рис. 6.13, *б).* Вода малопрозрачная, от зеленовато-коричневой до коричневой. Для таких озер характерны небольшие глубины, благоприятствующие образованию широких поясов прибрежной растительности.



Рис. 6.13. Вертикальное изменение концентрации кислорода при одинаковой температуре в озерах (по *Р. Смиту): а* — олиготрофных; *б* — эвтрофных

Дистрофные озера. Это неглубокие озера с берегами, поросшими торфообразующими растениями. Вода малопрозрачна, окрашена в бурый цвет гуминовыми веществами; кислород в дефиците; реакция воды слабо кислая.

Между этими типами озер существуют все переходные стадии. Кроме того, одно и то же озеро (пруд) может переходить из одного типа в другой.

Обогащение биогенами. При эрозии и выщелачивании водоем постепенно заполняется наносами и обогащается биогенами, накопление которых способствует развитию фитопланктона, а значит, помутнению воды и затенению бентосной растительности. Кислород, выделяемый планктоном при фотосинтезе, перенасыщает верхний слой воды и улетучивается с ее поверхности. В ясный день легко видеть, как из скоплений нитчатых водорослей всплывают пузырьки кислорода.

Жизненный цикл фитопланктона очень короток. Его быстрое размножение компенсируется отмиранием, ведущим к накоплению детрита. Отмерший фитопланктон поступает в глубинную зону, где им питаются редуценты, также потребляющие кислород и снижающие его концентрацию в воде. Когда растворенного кислорода не остается, бактерии-редуценты выживают за счет анаэробного брожения, и так может продолжаться до тех пор, пока есть детрит для питания.

Таким образом, у поверхности количество растворенного кислорода может быть очень высоким из-за фотосинтеза фитопланктона, а на глубине его запасы истощаются редуцентами (рис. 6.13, б).

«Дождь» фитопланктона переносит усвоенные им биогенные элементы на дно, где по мере разложения детрита они вновь высвобождаются. Восходящие конвективные потоки возвращают биогены к поверхности, и описанный процесс повторяется многократно.

Эвтрофикация водоемов — обогащение водоема биогенами, стимулирующее рост фитопланктона. Результатом является помутнение воды, гибель бентосных растений, снижение концентрации растворенного кислорода, недостаток его для глубоководных рыб и моллюсков. Эвтрофикация может происходить даже в медленно текущих пресных водах. Чем больше органических веществ поступает в озеро, тем больше требуется кислорода[1] для перевода их в неорганические соединения.

Эвтрофикация представляет собой смену богатой экосистемы, основанной на бентосной растительности, на простую, основанную на фитопланктоне.

В геологических масштабах времени водоемы постоянно обогащаются биогенами и заполняются поступающими с суши

[1] Поэтому комплексными характеристиками загрязнения воды органическими веществами служит биологическое (БПК) и химическое (ХПК) потребление кислорода.

наносами. За многие столетия в озере накапливаются ил и детрит, постепенно заполняющие первоначально глубокую чашу озера.

Эвтрофикация — составная часть естественного процесса, называемого сукцессией. За несколько тысяч лет озеро может измениться естественным путем и превратиться из олиготрофного в эвтрофное, или, иначе говоря, «состариться». Однако антропогенная деятельность приводит к аналогичным последствиям всего за несколько десятилетий. Поэтому принято говорить об антропогенной эвтрофикации, противопоставляя ее естественной. Эвтрофикация — хороший пример того, что не все негативные проблемы современности связаны с промышленным выбросом «ядовитых» соединений, ибо в рассматриваемом случае часто причиной является поступление в природную экосистему таких «безвредных» веществ, как частицы почвы и питательные вещества. На данном примере отчетливо видно, что изменение любого экологического фактора может нарушить равновесие в экосистеме.

6.4.2.5. Экосистемы водотоков

Экосистемы проточных водоемов, а именно ручьев, быстро и медленно текущих рек и речек от их истоков до устья значительно отличаются от экосистем стоячих вод, что вызвано постоянным обновлением воды и значительно большими контактами с наземными экосистемами.

Скорость течения водотоков — определяющий фактор в жизни биоценозов вследствие воздействия на организмы физических и химических свойств воды. Скорость течения также влияет на характер дна.

Температура проточных вод обычно одинакова по всей их толщине и подвергается изменениям по мере продвижения вод от истоков к устью. Насыщенность кислородом проточных вод (за счет атмосферной аэрации) даже при отсутствии зеленых растений бывает достаточной. Постоянное движение создает лучшие условия для дыхания организмов, однако органические вещества, поступающие в водотоки с бытовыми или промышленными стоками, вызывают уменьшение концентрации кислорода в воде из-за массового размножения бактерий.

В нижнем течении рек, особенно крупных равнинных, имеется довольно разнообразный, постоянный и обильный планктон. Донное население рек сильно зависит от скорости

потоков. В распространении рыб от истока к устью прослеживается определенная зональность.

В противоположность озерам у рек соотношение размеров береговой полосы и водной массы благоприятствует образованию фауны береговых откосов. Пищевые цепи в проточных водах отличаются бедностью пищевой базы. Многие животные проточных вод являются всеядными и в зависимости от места или времени года поедают растения, животных или детрит. Таковы карпы, сомы, раки, личинки насекомых.

Продуктивность от реки к реке сильно различается. Особое место среди экосистем занимают эстуарии (места впадения пресноводных рек в соленые моря и океаны), где обитают виды, способные существовать в солоноватых водах.

6.4.3. Закономерности географического распространения экосистем

По мере продвижения с севера на юг увеличивается удельное количество энергии Солнца, попадающей на единицу поверхности Земли, что позволяет жить большему количеству видов, накапливаться более значительной биомассе, повышаться продуктивности экосистем суши. Средняя интенсивность биохимических процессов на севере и в тропиках различается существенно. С учетом правил формирования экосистем и взаимодействия видов живого в биоценозах в каждом случае видов столько, сколько необходимо для усвоения и переработки приходящей от Солнца энергии.

Количество экосистем в естественной природе невелико. Для тропиков характерно однообразие биоценозов. Пестрый растительный покров тянется на десятки и сотни километров, хотя два одинаковых дерева рядом увидеть трудно. Огромные пространства тундры также однородны, хотя не отличаются разнообразием видов. Однообразна и естественная тайга, хотя здесь формируется большее количество экосистем. В степях и пустынях число экосистем не выше, чем в таежной полосе.

В морских экосистемах иная ситуация, чем на суше[1].

Число видов здесь также максимально в тропиках и минимально на Крайнем Севере, но биомасса выше всего в субарк-

В данном случае имеется в виду «усредненный» географический пояс океанической толщи, так как при сравнении жизни в океане следует учитывать массу особенностей.

тике, бореальной[1] и суббореальной полосах. Тропики богаты видами, но сравнительно мало продуктивны.

Именно в северных и крайних южных широтах развивается бурная океаническая жизнь, дающая массу криля — пищу крупнейших морских млекопитающих — китов и обильную рыбную продукцию. Высока продуктивность и тех районов юга океана, где из его глубин поступают холодные воды, богатые кислородом и биогенами. В теплой воде кислород растворяется хуже и мало биогенов. Жизнь обильна там, где их много, например на рифах, а в открытом океане она бедна.

А. А. Григорьев и М. И. Будыко сформулировали *периодический закон географической зональности:*

> со сменой природных поясов аналогичные ландшафтные зоны и их некоторые общие свойства периодически повторяются.

На рис. 6.14 приведена схема, отражающая упомянутый закон. По оси абсцисс отложено значение радиационного индекса сухости I_R, равного отношению радиационного баланса (алгебраической суммы поглощаемой и излучаемой радиации

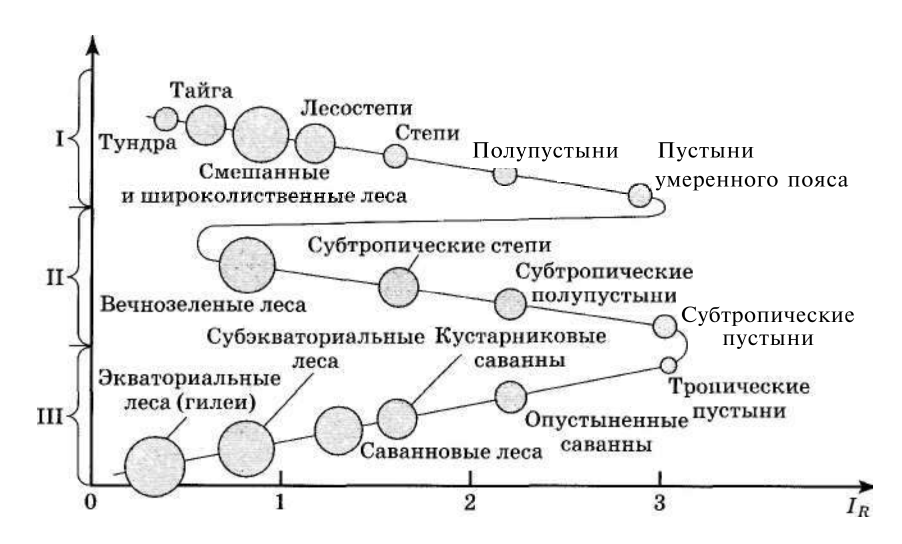


Рис. 6.14. Схема, иллюстрирующая периодический закон географической зональности в зависимости от радиационного индекса сухости (I_R)

[1] Бореальная (от лат. *boreas* — северный) — северная, таежная полоса.

в атмосфере," или иначе разницы между притоком и оттоком теплоты за год) к количеству теплоты, необходимому для испарения годовой суммы осадков. Диаметры кругов пропорциональны биологической продуктивности ландшафтов.

Установленная законом периодичность проявляется в том, что величины индекса сухости меняются в разных зонах от О до 4—5 и трижды между полюсами и экватором они близки к единице, причем именно в этих случаях наблюдают наибольшую биологическую продуктивность ландшафтов.

Экосистемы, как и виды живого, подчиняются закону конкурентного исключения, поэтому:

> свободных экологических ниш ни в рамках отдельных экосистем, ни в рамках живого покрова планеты нет; эти ниши могут быть выработаны лишь при достаточно заметном природном или антропогенном изменении среды обитания.

Контрольные вопросы и задания

6.1. Что такое экологическая система? Какие биосистемы изучает экология?
6.2. Из каких компонентов состоят экосистемы?
6.3. Можно ли космический корабль назвать экосистемой?
6.4. Что такое продуктивность экосистем?
6.5. Чем отличается большой и малый круговороты веществ?
6.6. Какие процессы лежат в основе круговорота азота и фосфора?
6.7. Как влияет человек на биогеохимический цикл фосфора?
6.8. Что такое сукцессия и причины ее возникновения? В чем сущность первичной и вторичной сукцессии?
6.9. Назовите законы, которым подчиняются химические превращения в природе и все биологические процессы в экосистемах.
6.10. Каковы последствия антропогенной эвтрофикации водоемов?

ГЛАВА 7

БИОСФЕРА

Биосфера (от греч. *bios* — жизнь, *sphaira* — шар) — область системного взаимодействия живого и костного вещества планеты. Она представляет собой глобальную экосистему — совокупность всех биогеоценозов (экосистем) нашей планеты.

Первые представления о биосфере как «области жизни» и наружной оболочке Земли были высказаны в начале XIX в. Ж. Ламарком. В 1875 г. австрийский геолог Э. Зюсс впервые ввел в научную литературу современный термин «биосфера», понимая под ним область взаимодействия основных оболочек Земли: атмо-, гидро- и литосферы, где встречаются живые организмы.

Заслуга создания целостности учения о биосфере принадлежит В. И. Вернадскому. Используя этот термины, он создал науку «биосфера», ввел понятие «живое вещество» — совокупность всех живых организмов, а также отвел живым организмам роль главнейшей преобразующей силы планеты Земля, учитывая деятельность организмов не только в настоящее время, но и в прошлом. Поэтому биосфера — это все пространство, где существует или когда-либо существовала жизнь, т. е. где встречаются живые организмы или продукты их жизнедеятельности. Ту часть биосферы, где живые организмы встречаются в настоящее время, обычно (в специальной литературе) называют современной биосферой или *необиосферой,* а древние биосферы относят к былым биосферам, иначе *палеобиосферам* или *мегабиосферам.* Примеры последних — безжизненные скопления органических веществ (залежи угля, нефти, газа и др.) или запасы иных соединений, образовавшихся при непосредственном участии живых организмов (известняки, ракушечники, образования мела, ряда руд и многое другое).

7.1. Структура и границы биосферы

Структура биосферы. Биосфера включает в себя:
- аэробиосферу — нижнюю часть атмосферы;
- гидробиосферу — всю гидросферу;
- литобиосферу — верхние горизонты литосферы (твердой земной оболочки).

Границы биосферы. Границы нео- и палеобиосферы различны.

Верхняя граница. Верхняя граница теоретически определяется озоновым слоем. Для необиосферы — это нижняя граница озонового слоя (около 20 км), ослабляющего до приемлемого уровня губительное космическое ультрафиолетовое излучение, а для палеобиосферы — это верхняя граница того же слоя (около 60 км), ибо кислород в атмосфере Земли есть результат преимущественно жизнедеятельности растительности (так же, как и другие газы в соответствующей мере).

Любая классификация в экологии затруднена тем, что жесткие, резкие границы в природе являются редчайшим исключением.

В большинстве случаев в качестве верхней теоретической границы биосферы указывают озоновый слой без уточнения его границ, что вполне приемлемо, если не обсуждать разницу между нео- и палеобиосферой. Иначе следует учитывать, что озоновый экран образовался всего лишь около **600** млн лет назад, после чего организмы смогли выйти на сушу.

Практически же максимальная высота над уровнем моря, на которой может существовать живой организм, ограничена уровнем, до которого сохраняются положительные температуры и могут жить хлорофиллосодержащие растения-продуценты (6200м в Гималаях). Выше, до «линии снегов», обитают лишь пауки, ногохвостки и некоторые клещи, питающиеся зернами растительной пыльцы, спорами растений, микроорганизмами и другими органическими частицами, заносимыми ветром. Еще выше живые организмы могут попадаться лишь случайно.

На высотах 7500—8000 м критически низкого для абсолютного большинства организмов значения достигает другой абиотический фактор — абсолютное атмосферное давление. Наиболее зависимы от величины давления птицы и ле-

тающие насекомые, преимущественно занимающие нижнюю зону (0—1000 м), хотя отдельные виды птиц (орлы, кондоры) могут постоянно жить и на высотах 4000—5000 м.

Вся толща Мирового океана по современным представлениям полностью занята жизнью.

Нижняя граница. Нижняя граница существования активной жизни традиционно определяется дном океана 11 022 м (максимальная глубина Марианской впадины) и глубиной литосферы, характеризующейся температурой 100 °С (около 6000 м, по данным сверхглубокого бурения на Кольском полуострове). В основном жизнь в литосфере распространена лишь на несколько метров вглубь, ограничиваясь почвенным слоем. Однако по отдельным трещинам и пещерам она распространяется на сотни метров, достигая глубин 3000—4000 м.

Возможно, пределы биосферы намного шире, так как в гидротермах дна океана на глубинах около 3000 м[1] при температуре 250 °С обнаружены организмы.

Теоретически на глубинах 25 000 м относительно уровня моря должна иметь место критическая температура 460 °С, при которой при любом давлении вода существует только в виде пара, а следовательно, жизнь невозможна.

Осадочные породы, практически все претерпевшие переработку живыми организмами, определяют нижнюю границу былых биосфер, которая тем не менее не опускается на материках ниже самых больших глубин океана.

7.2. Геосферные оболочки Земли

7.2.1. Общее строение планеты

Внутреннее строение нашей планеты в виде нескольких геосфер (от греч. *geo* — земля, *sphara* — шар) или оболочек изучено относительно мало и преимущественно по данным сейсморазведки, исследующей процессы распространения в Земле искусственно вызванных упругих колебаний. Эксперименты и соответствующие теоретические расчеты позволили создать следующую модель.

На таких глубинах давление составляет около 30 МПа (300 атм), что позволяет воде присутствовать в жидком состоянии, тогда как пределы жизни ограничены точками перехода ее в пар и сворачивания белков.

В центре Земли имеется **внутреннее твердое субъядро** радиусом 1250 км (рис. 7.1), состоящее из вещества плотностью 13 г/см^3 (по одной из наиболее распространенных гипотез считают, что такую плотность может иметь только металл).

Вокруг него находится жидкое **внешнее ядро** радиусом 3050 км, состоящее из расплавленного вещества. Регулярные

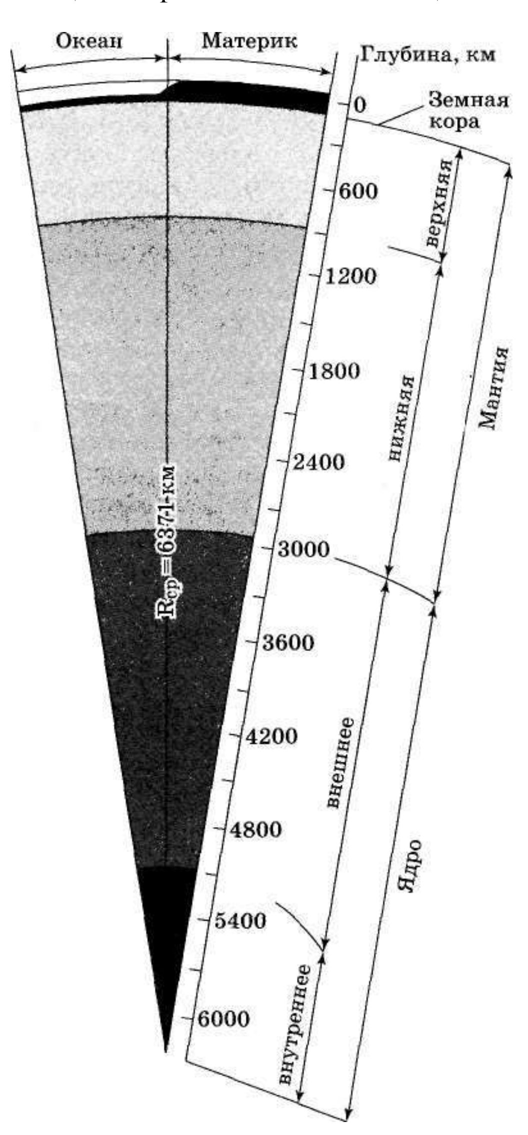


Рис. 7.1. Внутреннее строение Земли

течения этой высокоэлектропроводной жидкости, по одной из гипотез, являются причиной существования магнитного поля Земли. Внешнее жидкое и внутреннее твердое ядра в сумме составляют: 16% земного шара (без атмосферы) по объему и 31,5% по массе.

Далее снаружи жидкого ядра следует **мантия,** распространяющаяся с глубины **2900** км до глубины около 40 км относительно уровня моря на поверхности планеты[1].

Температура на границе ядра и мантии составляет около 4500 °С, а плотность вещества меняется скачкообразно с 10,1 у ядра до 5,6 т/м^3 у мантии. По другим данным температура ядра не меньше **2000** °С и не больше **5000** °С. Мантия составляет 83% объема планеты (без атмосферы) и 67% массы.

Скорость *v* распространения упругих волн по толщине мантии по мере движения от периферии к центру нарастает неравномерно: значительно быстрее в верхней части до глубин Z = **900—1000** км и очень медленно на больших глубинах (рис. 7.2). В связи с этим мантию чаще всего делят на *верхнюю* и *нижнюю,* а иногда дополнительно выделяют *среднюю* мантию.

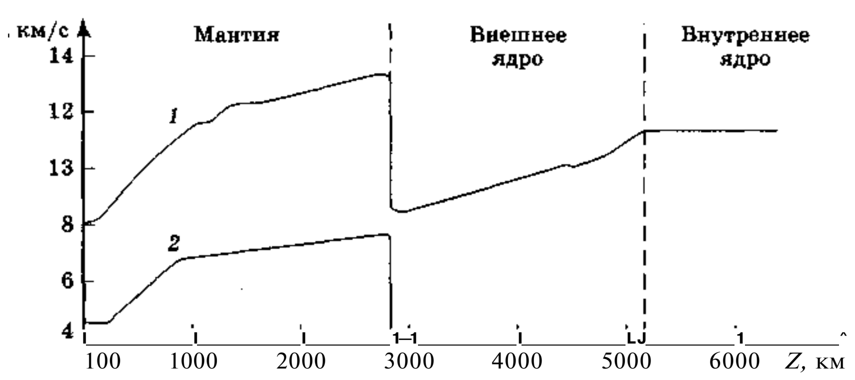


Рис. 7.2. Зависимость скорости распространения сейсмических волн от глубины (сейсмическая модель Земли): *1* — продольные волны; *2* — поперечные волны

Под действием высоких температур и долговременных нагрузок породы мантии размягчены и вещество на глубинах 40—400 км может течь. Так, около 10 тыс. лет назад после окончания ледникового периода растаяли ледники Северной Европы и Канады и, освободившись от двухкилометрового слоя льда, поверхность Земли начала подниматься. Этот подъем со скоростью в несколько миллиметров в год продолжается в Скандинавии и на севере Америки и сейчас, что обеспечивается вязким течением верхней мантии.

Снаружи мантии расположена действительно твердая, но очень тонкая (20—40 км) оболочка — **кора Земли,** составляющая около 1% планеты по объему и 0,5% по массе. При переходе из мантии в кору (поверхность или граница Мохоровичича[1] — сокращенно граница Мохо) плотность вещества скачкообразно меняется с 3,2 до 2,9 т/м^3.

Максимальные глубины, которых достиг человек к концу XX в., составляют 15 км (сверхглубокая скважина на Кольском полуострове) и 3,5 км (глубокая шахта «Ист Рэнд» в Южной Африке). Поэтому сейсморазведка — единственный доступный человеку метод изучения внутреннего строения Земли. Суть этого метода в том, что на поверхности создают (например, путем взрыва) упругие колебания — сейсмические волны, которые со скоростью в несколько километров в секунду распространяются в глубь Земли. С той же целью изучают упругие колебания, вызванные природными землетрясениями. Различают продольные *P* и поперечные S объемные волны (рис. 7.2).

В более плотной среде скорость волн возрастает, в рыхлой — снижается, а в жидкостях поперечные волны вообще не распространяются. Резкие скачкообразные изменения плотности вещества в геосферах сопровождаются такими же резкими изменениями скорости распространения продольных волн: в коре она составляет около 7 км/с, в мантии за границей Мохо — около 8 км/с, а при переходе из мантии в ядро скорость меняется скачком с 13,6 до 8,1 км/с. Поперечные волны в ядре вообще не могут распространяться. Проходя границу раздела двух сред с различной плотностью, упругие колебания частично отражаются, возвращаясь на поверхность.

Давление с глубиной быстро растет, и в центре Земли оно достигает 370 ГПа (3,7млнатм), а сила тяжести постепенно убывает до нуля. Наиболее сложное (неоднородное) строение имеет земная кора. Она состоит из нескольких слоев. Самый нижний слой называют *базальтовым,* потому что скорости распространения сейсмических волн в нем такие же, как в базальте, хотя действительный его состав неизвестен.

В базальтовом слое как бы плавают гранитные «подушки» толщиной 15—20 км, на которых расположена трех—пятикилометровая (в среднем) толща осадочных пород континентов (рис. 7.3). Они состоят из различных кристаллических пород,

[1] По имени югославского геофизика А. Мохоровичича, изучавшего в 1910 г. землетрясения в Хорватии.

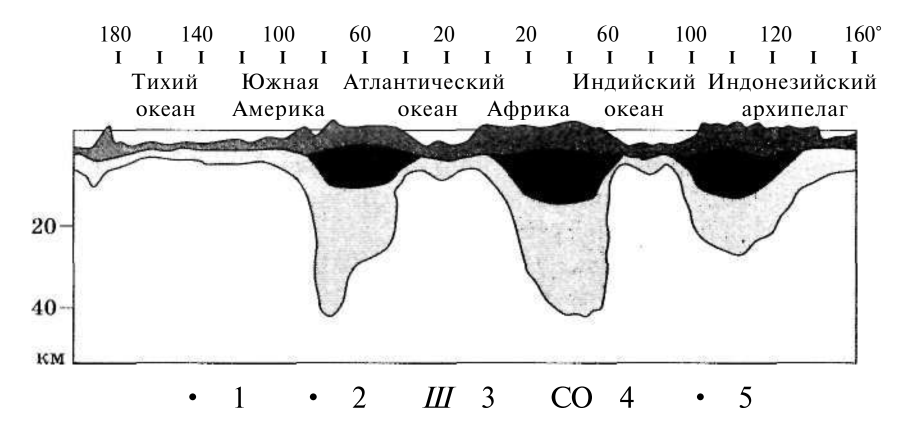


Рис. 7.3. Схема строения земной коры в экваториальном разрезе:
1 — океаническая вода; *2* — осадочные породы; *3* — граниты;
4 — базальты; 5 — мантия

скорость движения сейсмических волн в которых такая же, как в гранитах. Плотность гранитов при одинаковом давлении и температуре ниже плотности базальтов.

Океаническая кора имеет следующие существенные отличия от материковой:

- толщина ее составляет обычно 3—7 км, что на порядок меньше;
- гранитный слой отсутствует;
- осадочный слой обычно очень тонок — менее 1 км;
- между осадочным и базальтовым слоями находится небольшой слой, состав которого практически неизвестен, поэтому он называется просто вторым слоем.

Методами гравиметрии и глубинного сейсмического зондирования установлено, что чем выше расположена какая-либо местность, тем толще под ней кора и тем глубже она уходит в мантию. Получается, что поверхность Мохоровичича повторяет рельеф земной поверхности в перевернутом виде, т. е. является отражением в горизонтальном зеркале с многократным увеличением вертикального масштаба.

Континенты и вся кора как бы плавают в более плотной мантии, причем не только подчиняясь закону Архимеда, но и перемещаясь друг относительно друга со скоростью в несколько сантиметров в год. В соответствии с теорией глобальной тектоники движутся тектонические плиты — большие участки земной коры, включающие в себя, помимо континентов, также и соседние участки океанического дна. Заметное повто-

рение береговой линии Африки и Южной Америки считают не случайным — сотни миллионов лет назад эти два континента были единым целым.

По принятой на сегодня гипотезе на Земле с середины палеозоя до середины мезозоя существовало только два материка: в Северном полушарии — Лавразия, а в Южном — Гондвана. Их разделял океан Тетис.

Когда Лавразия распалась, образовались две части: североамериканская и евроазиатская с Атлантическим океаном между ними. Из Гондваны образовались Южная Америка, Африка, Азия (Аравия и Индия), Австралия и Антарктида. Кости предков сумчатых животных, ныне обитающих только в Австралии, были найдены в Антарктиде.

Главных тектонических плит шесть: евроазиатская, африканская, антарктическая, индо-австралийская, американская и тихоокеанская. Между ними существует несколько мелких плит, движущихся отчасти независимо. На некоторых границах плит, расположенных только в океане, образуется новая кора. Так, вдоль середины Атлантического океана проходит подводный Срединно-Атлантический хребет, от которого земная кора наращивается в направлении к американской плите (в одну сторону) и к африканской и евроазиатской (в другую).

Однако существуют на Земле и районы, где плиты сталкиваются и одна погружается под другую, образуя зоны **субдукции**[1].

Трение на границах сдвигающихся плит — причина землетрясений, а нагревание осадочного слоя опускающейся плиты, сопровождающееся химическими реакциями, — причина извержений вулканов. Образующиеся при дегазации недр газы и пары воды из жерла вулкана попадают в атмосферу. Характерным примером является цепь вулканов на Дальнем Востоке вдоль границы, где тихоокеанская плита опускается под евроазиатскую.

В середине XX в. было установлено, что излияние лав и дегазация идут не только в вулканах на суше, но и на дне океана, в **рифтовых** (от англ. *rift* — трещина, ущелье) **долинах —** раз-

[1] Субдукция — процесс подныривания одной литосферной плиты под другую в районе глубоководных желобов. На карте рельефа поверхности Земли зоны субдукции выглядят как глубоководные океанические желоба вблизи островных дуг или континентальных окраин с высокими хребтами. Их протяженность примерно равна протяженности рифтовых долин. Противоположный процесс — спрединг — расхождение литосферных плит в стороны от срединно-океанических хребтов.

ломах земной коры, проходящих по оси срединно-океанических хребтов. В общей сложности протяженность таких разломов на дне океанов составляет не менее 70 тыс. км.

Рифтовые долины образуют границы литосферных плит, на которые разбита вся поверхность планеты. В рифтовых зонах земная кора раздвигается за счет подъема из глубин недр вещества, которое наращивает края плит.

С помощью глубоководных аппаратов в районе рифтовых долин обнаружены многочисленные выбросы сильно минерализованной воды, содержащей соединения металлов и имеющей температуру до 300—400 °С. При попадании такой сверхгорячей воды в холодную придонную океаническую воду она быстро остывает и содержащиеся в ней вещества осаждаются, формируя вокруг струи сооружение в виде трубы. Такие струи часто выглядят как столб черного или белого дыма. Поэтому они получили название «черные» или «белые» курильщики.

Одна из характерных особенностей нашей планеты заключается в следующем. Если выразить графически рельеф материков и дна океанов в качестве различных ступеней общего рельефа Земли, получается **гипсографическая** (от греч. *gipsos* — высота, *grapfo* — пишу) **кривая** земного шара (рис. 7.4). Ее анализ показывает, что континенты уступают океанам по площади, и их поднятие над уровнем моря невелико по сравнению с глубинами океанов.

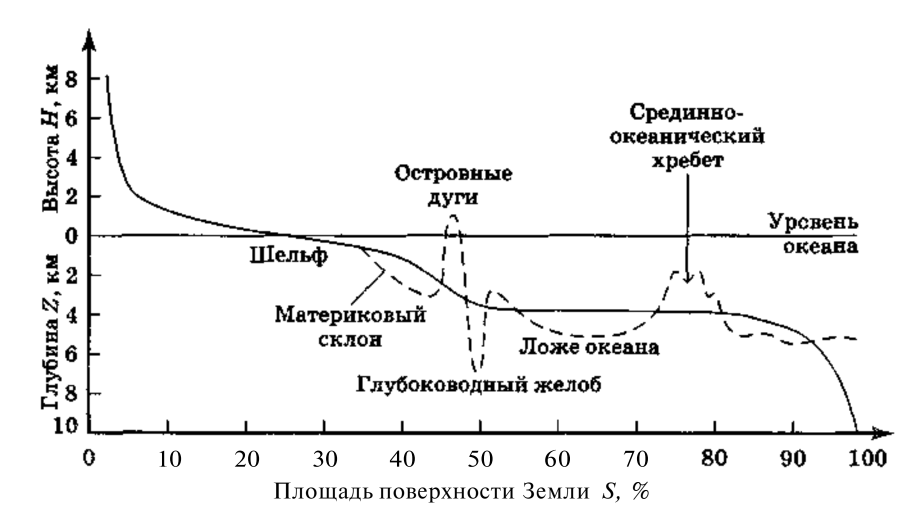


Рис. 7.4. Гипсографическая кривая земного шара (жирная линия) и обобщенный профиль дна океана (пунктирная линия)

На суше и океаническом дне с определенной закономерностью расположены горы и горные системы. На суше это широтный Средиземноморский и меридиональные западно- и восточно-тихоокеанские линейные горные пояса. Средиземноморский пояс начинается на западе горами Атласа (Северная Африка) и продолжается на восток, включая горные цепи Пиринеев, Альпы, Апеннины, Балканские, Карпатские, Крымские, Кавказские горные системы, Памир, Гималаи. Западнотихоокеанский пояс охватывает горные сооружения Чукотки, Камчатки, Курильских островов, Сахалина, Японии и другие, вплоть до австралийских Кордильер. Восточно-тихоокеанский пояс включает в себя горные образования Кордильер Северной и Южной Америки.

В Атлантическом океане почти на равном расстоянии от Американского континента, Европы и Африки обнаружен простирающийся с юга на север горный хребет, названный Срединно-Атлантическим. Он возвышается над дном океана почти на 3 км. Ширина хребта исчисляется сотнями километров. Подобные хребты выявлены в Индийском, Тихом и Северном Ледовитом океанах. По своей протяженности, ширине и высоте они не уступают складчатым горным поясам материков. Вдоль осевых частей хребтов, приравненных к срединно-океаническим, протягивается глубокая (до 3 км) и широкая (25—50 км) трещина — рифт.

Считают, что деятельность вулканов и рифтовых зон в докембрийский период, сопровождавшаяся извержением и кристаллизацией (с дегидратацией) вещества мантии, способствовала образованию воды на Земле, заполнившей Мировой океан планеты.

Механизмы, приводящие к движению плит и дрейфу континентов, изучены не до конца, тем не менее проявления тектонической деятельности в виде извержений вулканов обнаружены и на других планетах и спутниках, что говорит о сходных процессах в их недрах.

Земля — не идеальный шар. Благодаря вращению наша планета в целом должна иметь форму эллипсоида, приплюснутого у полюсов, т. е. с экваториальным радиусом больше расстояния от центра до полюсов. Однако в действительности она существенно иная. С помощью искусственных спутников установлено, что Земля имеет несколько «грушевидную» форму: ее Северный полюс приподнят на 15 м относительно правильного эллипсоида, а Южный — опущен на 20 м. Кроме того, доказа-

но, что экваториальное сечение Земли также имеет форму эллипса с разницей между большой и малой полуосями в 100 м.

По сравнению с размерами всей Земли неровности ее поверхности весьма незначительны, и в расчетах ими пренебрегают. Геометрическую фигуру Земли принято ограничивать поверхностью океана, мысленно продолженной под материками таким образом, чтобы она всюду была перпендикулярна к направлению силы тяжести. Эта присущая только Земле фигура получила название **геоид** (от греч. *geo* — земля, *eidos* — подобие).

Радиус земного шара в плоскости экватора составляет 6378 км, а от центра Земли до полюса — 6357 км. Длина экватора — 40 076 км, а длина земного меридиана — 40 009 км. Общая площадь поверхности Земли около 510 млн км^2, ее объем — $1{,}083 \cdot 10^{12}$ км^3, масса — $6 \cdot 10^{12}$ млрд т.

Процессы, сопоставимые по масштабам с рассмотренными и непосредственно влияющие на биосферу Земли, происходят в результате соседства естественного спутника — Луны. Наиболее заметными являются приливы и отливы, причем как на водных просторах, так и земной коре (где они без специальных приборов не ощутимы). Каждые 12 ч 25 мин уровень моря поднимается (в открытом океане в среднем на 0,5 м), а через четверть суток возвращается в исходное состояние.

Вблизи берегов наблюдаемая высота прилива сильно возрастает, достигая максимума в сужающихся заливах и в мелководных Беринговом и Охотском морях. Особенно сильны морские приливы около 50° северной и южной широты. Там приливные волны движутся по поверхности Земли со скоростью - 290 м/с. Максимальная разница между высокой и низкой водой зарегистрирована в заливе Фанди, в Канаде, на широте 45° она достигает 18 м.

Морские приливы и отливы наиболее заметны, однако приливное воздействие по тем же законам физики искажает и атмосферу Земли: она также немного вытянута в сторону Луны. Это вызывает колебания атмосферного давления, незначительные по сравнению с колебаниями при изменении погоды. Приливы на Земле вызывает не только Луна, но и Солнце, причем максимум соответствует полнолунию или новолунию, когда Земля, Луна и Солнце находятся на одной прямой.

Соседство большого спутника нигде в Солнечной системе сейчас не проявляется так сильно, как для Земли. Луна тормозит ее вращение.

7.2.2. Атмосфера

Атмосфера (от греч. *athmos* — пар, *sphaira* — шар) — газовая оболочка планеты. На Земле сформировалась в результате геологической эволюции и непрерывной деятельности организмов. Состав современной атмосферы — результат динамического равновесия, поддерживаемого процессами жизнедеятельности организмов и различными геохимическими явлениями глобального масштаба.

Общая масса атмосферы Земли равна $5{,}3 \cdot 10^{15}$ т (по разным оценкам $5{,}15—5{,}9 \cdot 10^{15}$), причем 90% сосредоточено в околоземном слое толщиной около 16 км. Поскольку атмосфера является наружной оболочкой Земли, она «разграничивает» планету и космическое пространство, ослабляя ряд поступающих из космоса излучений и сглаживая резкие колебания температуры в биосфере. Кроме того, она является средой распространения микроорганизмов, семян, плодов, а также местообитанием многих насекомых, птиц и млекопитающих.

Атмосферы других планет Солнечной системы (табл. 7.1) совершенно иные. На Венере и Марсе преобладает диоксид углерода, на планетах-гигантах — гелий, водород, метан и аммиак, а на Луне и Меркурии атмосферы практически нет.

Таблица 7.1 /

Атмосферы небесных тел Солнечной системы

Небесное тело	Радиус, тыс. км	Температура, K	**V**	Описание атмосферы	Основные компоненты атмосферы
1	2	3	4	5	6
Солнце	700	5770	4000	Солнце — целиком газовый шар	*e~*, H+ H, He
Меркурий	2,4	715—775 (в подсолнечной точке)	2,8	Атмосфера крайне разреженная (практически нет)	Ar, Ne, He
Венера	6,1	750	22	Мощная атмосфера, давление у поверхности 100 кПа	$C0_2$(97%), N_2(<2%), H_2O (0,05%), примеси CO, HCl, HF

Окончание таблицы 7.1.

1	2	3	4	5	6
Земля	6,4	288 (+15 °C)	30	Мощная атмосфера над океаном и сушей	N_2, 0_2, H_20
Луна	1,7	120—407	1,4	Атмосферы нет	—
Марс	3,4	В тропиках: 288 днем и 198 ночью. На Южном полюсе—120	7,7	Слабая атмосфера, давление у поверхности 550—650 Па	$C0_2$(95%), N_2(2,5%), Аr(1,5%), примеси СО, H_20, 0_2
Юпитер	71,3	110	2000	Мощная атмосфера в виде газожидкостной смеси, давление до 10 млн МПа	H_2, He, CH_4, NH_3
Сатурн	60,2	90 (на видимой стороне)	950	Мощная атмосфера в виде газожидкостной смеси	H_2, He, CH_4, NH_3
Титан (спутник Сатурна)	2,6	80	5,3	Мощная атмосфера над метановым океаном	H_2, примеси CH_4 и C_nH_m
Уран	26	55	500	Мощная атмосфера	H_2, He, CH_4
Нептун	25	45	800	Мощная атмосфера	CH_4, H_2, He
Плутон	1,5	40	1,7	Атмосферы нет (?)	Следы CH_4

* E_0 — квадрат отношения первой космической скорости к тепловой скорости молекул. Если эта величина мала, то газ легко улетучивается с планеты в космос, а для существования стабильной, мощной атмосферы E_0 должно быть значительно больше единицы.

7.2.2.1. Структура атмосферы

Параметры, характеризующие атмосферу (температура, давление, химический состав и др.), изменяются прежде всего с высотой относительно уровня моря, а характеризующие нижние слои зависят и от географической широты. Вертикальная структура атмосферы приведена на рис. 7.5, *а—в*. Давление *Р*, так же как и плотность газов атмосферы, связаны с изменением сил гравитации по мере удаления от поверхности планеты, а температура зависит от того, как взаимодействует излучение Солнца с разными газами в различных слоях атмосферы, а именно — как эти газы поглощают излучения разных длин волн. При этом все же большая часть излучения Солнца, имеющая длины волн вблизи максимума спектра, не поглощается атмосферой и доходит до поверхности Земли, согревая ее.

Описанные тепловые процессы и график изменения температуры *Т* газов по высоте *Н* относятся только к дневной, освещенной стороне Земли, а на ночной происходит охлаждение. Тем не менее слоистая структура атмосферы сохраняется и ночью, ибо полусуток недостаточно для размывания тропо-, страто-, мезо-, термо- и экзосферы. Только полярной ночью атмосфера сложена иначе.

Высота слоя тропосферы изменяется от 7—10 км над полюсами до 16—18 км над экватором. Тропосфера содержит почти половину всего водяного пара атмосферы, при конденсации которого образуется облачность нижняя (до высоты 1—2 км), средняя (на высоте 2—4 км) и верхняя (6—10 км). Содержание водяных паров может колебаться от 0 по объему в сухом воздухе до почти 4% в максимально влажном.

При нормальном состоянии тропосферы ей присуще снижение температуры воздуха с градиентом 6,5 °С на 1 км высоты, которое в значительной степени зависит от содержания паров воды и $C0_2$. Иногда (при температурной инверсии) на отдельных высотах температура либо перестает изменяться с высотой, либо увеличивается, что нарушает нормальную циркуляцию воздуха.

7.2.2.2. Газовый состав

Первичный состав атмосферы Земли определили газообразные продукты химических реакций, происходивших в первичном веществе под действием высоких давлений и температур; при этом в земной атмосфере оказалось так много паров воды, что большая их часть сконденсировалась, образовав

первичный океан. Эти процессы продолжаются на Земле и сейчас, хотя уже совсем не так интенсивно, как в начале эволюции.

И ныне обновляется земная кора, а вулканы выбрасывают разнообразные газы, присутствие которых в современной атмосфере незаметно. Причина в том, что все газы находятся в динамическом равновесии друг с другом, с океаном и с веществами земных пород. Кислотные оксиды легко растворяются в воде, образуя кислоты. Взаимодействие кислот с основными оксидами земной коры дает соли, часть которых растворима и остается в океане, а другая нерастворимая часть образует осадочные породы.

Сухой воздух, лишенный твердых примесей, по составу практически одинаков по всей территории земного шара. На уровне моря он представляет собой физическую смесь газов — преимущественно азота и кислорода.

Состав атмосферного воздуха над незагрязненной территорией (на уровне моря) приведен в табл. 7.2, а изменение его состава и давления с высотой над уровнем моря — в табл. 7.3.

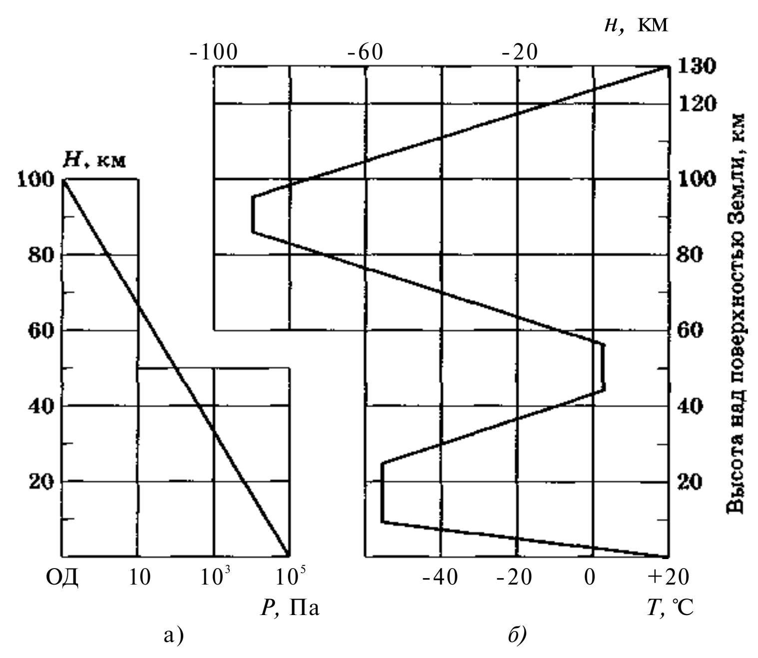
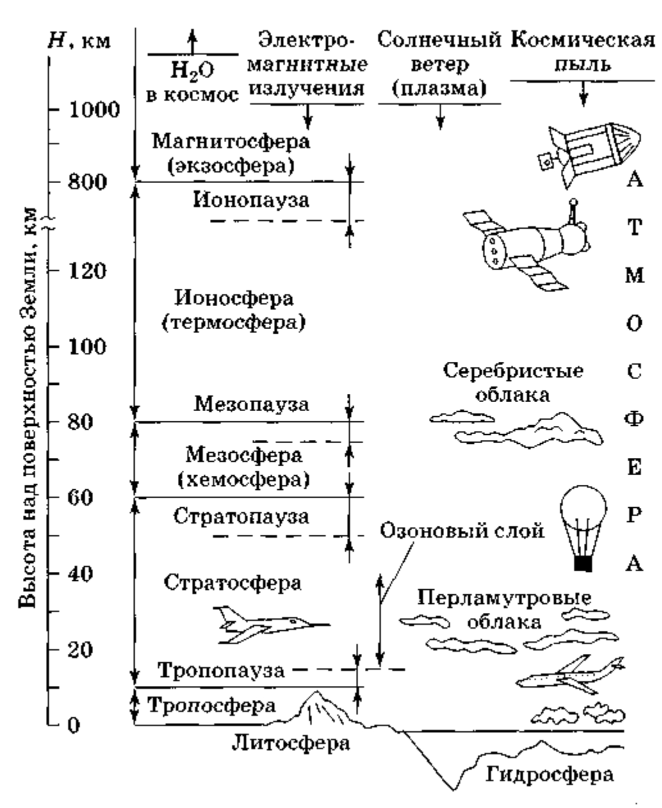


Рис. 7.5. Изменение давления (а), температуры *(б)* над поверхностью Земли и структура атмосферы (в)

Воздух содержит также водород, озон, оксид серы (IV), ксенон, оксид углерода, оксид и диоксид азота, аммиак и др.

За время эволюции с момента образования биосферы состав атмосферы изменился принципиально — появился и стал одним из основных компонентов кислород, образовался защитный озоновый слой, значительно колебалась концентрация диоксида углерода и т. д. На протяжении суток, а также в различные периоды года состав воздуха достаточно постоянен, что объясняется огромной массой земной атмосферы, интенсивным перемешиванием ее нижних слоев (в пределах тропосферы), большой скоростью диффузии газов. Исследования состава атмосферы за последние столетия показали хотя и медленное, но постоянное увеличение концентрации диоксида углерода и метана, относящихся к группе «парниковых газов».



в)

Таблица *7.2*

Состав атмосферного воздуха над незагрязненной территорией на рубеже XX и XXI вв.

Компонент	**Содержание, %**	
	по объему	**по массе**
Азот	78,084	75,5
Кислород	20,95	23,14
Аргон	0,93	1,28
Диоксид углерода ($C0_2$)	0,036	0,0479
Неон	18,0-Ю"^{4}	125,0-10^^{5}
Гелий	5,24-Ю"^{4}	7,24-Ю$^{-5}$
Метан	1,7 - 10"^{4}	9,4 -Ю"^{5}
Криптон	1,14-10^{-4}	33,0-10 ^{5}
Гемиоксид азота (N_20)	0,53 • 10~^{4}	8-10~^{5}

Таблица 7.3

Изменение состава воздуха и давления с высотой над уровнем моря

Высота, км	Объемная доля, %					Давление, кПа
	кислорода	азота	аргона	гелия	водорода	
0	20,95	78,08	0,93			101
5	20,95	77,89	0,94		0,01	54
10	20,99	78,02	0,94		0,01	22
20	18,10	81,24	0,59		0,04	5,5
100	0,11	2,97		0,56	96,31	0,009

Ускорение земного тяготения не только создает давление атмосферы у поверхности планеты, но и препятствует рассеиванию (диссипации) атмосферных газов в космическое про-

странство. При одинаковой температуре наибольшие скорости теплового движения имеют молекулы водорода и гелия — газов с наименьшей молярной массой. Выше 700 км над уровнем моря атмосфера Земли состоит практически только из этих газов. Однако даже при очень высокой температуре (порядка 1200 К) лишь малая доля водорода и гелия обладает скоростями, близкими ко второй космической скорости Земли (v_2 =11,2 км/с), и, следовательно, может улететь в космос.

Убыль гелия и водорода с планеты постоянно восполняется. Гелий образуется в земной коре при распаде тяжелых радиоактивных элементов, а водород — в верхних слоях атмосферы (на высотах 30—50 км) из воды под действием ультрафиолетовой части спектра излучения Солнца. Ежесекундно из атмосферы в космос улетает примерно 1 кг водорода, для чего разлагается 9 кг H_2O. Расчет показывает, что воды Мирового океана хватит на 5 тыс. млрд лет, т. е. навсегда, так как возраст Земли около 4,6 млрд лет.

Образовавшееся за время существования нашей планеты из воды (по описанной схеме) количество кислорода оценивается в 10^{15} т, что соответствует его количеству в современной атмосфере. Но для приведения химического состава Земли к современному состоянию потребовалось значительно большее количество кислорода, потраченного на окисление метана и аммиака первичной атмосферы, а также на окисление всех пород земной коры. Без участия растений это было бы невозможно. Кислорода они производят порядка $3 \cdot 10^6$ кг/с или 10^{11} т/г. Однако последние миллионы лет его содержание больше не увеличивается — весь кислород, создаваемый растениями, расходуется на дыхание животных, окисление вулканических газов, горение и гниение мертвых растений. В настоящее время значительное количество кислорода потребляется промышленностью и транспортом.

7.2.2.3. Озоновый слой

К числу наиболее важных характеристик атмосферы Земли, имеющих существенное эколого-биологическое значение, относится наличие в ней озонового слоя, резко (примерно в 6500 раз) ослабляющего часть (с длиной волны $X < 320$ нм) ультрафиолетового спектра ($10 < X < 400$ нм[1]) электромагнитного излучения Солнца, крайне опасную для всего живого на Земле.

[1] Из всей энергии излучения Солнца на долю электромагнитного излучения в этом диапазоне длин волн приходится около 9%.

Различают ближнее ультрафиолетовое излучение (УФИ) с $200 < X < 400$ нм и дальнее[1], или вакуумное, — с $10 < X < 200$ нм. По биологическому эффекту в диапазоне ближнего УФИ выделяют три области:

УФИ-А с 320 нм $< X <$ 400 нм; УФИ-В с 290 нм $< X <$ 320 нм; УФИ-С с 200 нм $< X <$ 290 нм.

Область УФИ-А. Эта область примыкает к «фиолетовому концу» области видимого света, имеет незначительный отрицательный эффект, но положительно воздействует на все живое. Под его действием в кожном покрове вырабатывается витамин D, играющий ключевую роль в кальциевом обмене организма человека. Недостаток этого витамина — причина детского рахита и старческой ломкости костей. Загар и пигментация кожи также связаны с излучением этого диапазона.

Область УФИ-В. При малых дозах облучения она также способствует загару, активизирует обмен веществ, улучшает общее состояние человека; однако при больших дозах (особенно при пиках $X = 297$, 240—260 нм) вызывает тяжелые последствия — солнечные ожоги и ряд иных расстройств вплоть до фотоканцерогенеза — возникновения злокачественных новообразований в коже (меланомы и саркомы).

Область УФИ-С. Ультрафиолетовое излучение в этой области особенно вредно. Оно активно воздействует на нуклеиновые кислоты и белки, умерщвляет живые клетки, обладает выраженным бактерицидным действием.

В спектре солнечного света, достигающего поверхности Земли, наряду с видимым светом и инфракрасным излучением присутствует только УФИ-А и сильно ослабленное УФИ-В. Излучение в диапазоне УФИ-В задерживается озоном, в диапазоне УФИ-С — кислородом, а в диапазоне дальнего УФИ — и иными газами. Происходит это следующим образом.

Одним из важнейших процессов, протекающих в верхних слоях атмосферы, является диссоциация 0_2 с образованием атомарного кислорода:

$$0_2 + hv \rightarrow O + O$$

Такая реакция требует много энергии, ибо энергия связи кислород—кислород в молекуле составляет 498 кДж/моль. Получение необходимого количества энергии возможно либо

[1] Дальнее (жесткое) УФИ является сильным мутагенным фактором для живого, так как воздействует непосредственно на нуклеиновые кислоты и косвенно на белки.

за счет ультрафиолетового излучения, либо в дуге электрического разряда. Вследствие этой реакции в атмосфере, начиная с высоты 100 км, кислород находится как в молекулярной, так и в атомарной формах (рис. 7.6).

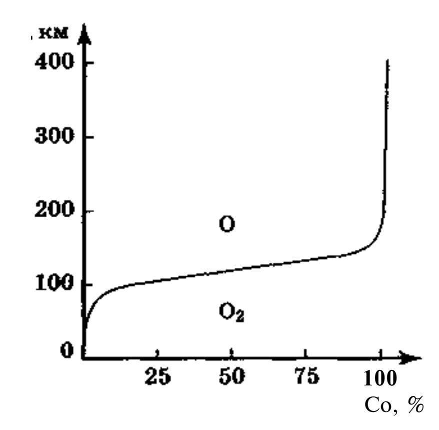


Рис. 7.6. Распределение кислорода в молекулярной и атомарной формах по высоте атмосферы (по *Ю. И. Скурлатову, Г. Г. Дуке, А. Мизити)*

На высоте около 130 км содержание 0_2 и О одинаково, а на высотах более 200 км присутствует практически только атомарный кислород.

Поступающая из космоса радиация проходит через верхние слои атмосферы, встречает присутствующие там газы, и наиболее коротковолновая часть излучения вызывает их ионизацию, описываемую уравнениями:

$$N_2 + h\nu\ (< 80\ \text{нм}) \rightarrow N_2^+ + e^-$$
$$O + h\nu\ (< 91{,}2\ \text{нм}) \rightarrow O^+ + e^-$$
$$O_2 + h\nu\ (< 99{,}3\ \text{нм}) \rightarrow O_2^+ + e^-$$
$$NO + h\nu\ (< 134{,}5\ \text{нм}) \rightarrow NO^+ + e^-$$

Таким образом, в процессе приближения к поверхности Земли до расстояния 90 км большая часть коротковолнового излучения оказывается поглощенной, однако излучение, способное вызвать диссоциацию молекулярного кислорода 0_2, остается еще достаточно интенсивным. На высотах 30—50 км взаимодействие атомарного кислорода с молекулярным приводит к образованию озона:

$$O_2 + O + M^1 \rightarrow O_3 + M$$

На меньших высотах скорость образования озона $O_э$ увеличивается пропорционально соотношению концентраций газов и уменьшается из-за поглощения света с $X < 240$ нм, что определяет наличие максимума содержания озона на высотах около 25 км (рис. 7.7).

[1] М — «третье» тело (еще одна молекула 0_2, N_2, аэрозоли и др.), стабилизирующее синтезирующийся 0_3, снимая с него избыточную энергию. Подробнее смотри специальную литературу.

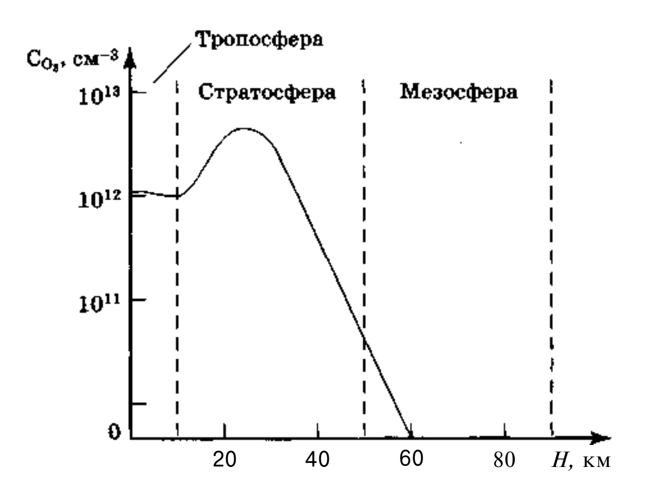


Рис. 7.7. Распределение озона в атмосфере

В стратосфере озон наряду с прочими процессами поглощает солнечное излучение с *X* < ИЗО нм, а излучение с *X* < 320 нм разлагает его наиболее интенсивно:

$$0_3 + hv\ (< 320\ нм) \rightarrow 0_2 + O$$

Иными атмосферными газами излучение этого диапазона поглощается менее интенсивно.

Общее количество озона в атмосфере оценивается всего в $3{,}3 \cdot 10^9$ т. Если бы удалось собрать весь озон атмосферы около поверхности Земли при нормальном давлении (760 мм рт. ст.) и температуре (+20 °С), то получился бы слой (сферическая оболочка) толщиной всего 2,5—3 мм. Такова распространенная теоретическая модель, вызывающая, к сожалению, неверное представление о строении «защитного экрана» биосферы.

Реально в атмосфере никакого «отдельного» слоя озона нет. Это лишь название достаточно широкой области, где концентрация озона максимальна.

Пик содержания озона приходится на высоты 20—30 км (иногда выделяют диапазон 15—50 км) над уровнем моря (рис. 7.7). Считают, что нижняя граница озоносферы лежит над полюсами на высоте 7—8 км, а над экватором — на высоте 17—18 км. У поверхности Земли, где озон образуется преимущественно во время грозовых разрядов, его средняя концентрация почти в 10 раз ниже пиковой.

7.2.2.4. Пыле- и газообразные загрязнения в атмосфере

Атмосферный воздух нашей планеты также содержит разнообразные загрязнения как естественные (природные), так и искусственные (антропогенные).

К природным источникам относят вулканы, пыльные бури, космическую пыль. Атмосфера загрязняется продуктами выветривания горных пород, частицами почв, пеплом, солью (в результате разбрызгивания и испарения морской воды), микроорганизмами. Важный источник естественного загрязнения — прижизненные выделения растений, животных и микроорганизмов. Естественное загрязнение атмосферы бывает чаще всего периодическим и обычно не токсично.

Большое количество различных газов и паров поступает в атмосферу из действующих вулканов, гейзеров, геотермальных и других подземных источников. При извержении вулканов выделяются диоксид углерода, сероводород, сернистый газ, соединения фтора и хлора, а при спокойном состоянии — сероводород, метан, диоксид углерода. Общее количество выбрасываемых геотермальными источниками оксидов углерода и серы приравнивается к выбросам тепловых электростанций.

Источники антропогенного загрязнения атмосферы — различные предприятия промышленности, транспорта, энергетики, коммунального хозяйства и т. п. Загрязняющие атмосферу вещества попадают в воздух в результате сжигания топлива непосредственно из бензо- и газохранилищ, при авариях и т. д.

Атмосферные загрязнители делят на первичные, поступающие непосредственно в атмосферу, и вторичные, являющиеся результатом превращений последних. Так, поступающий в атмосферу оксид серы (IV) ($S0_2$) окисляется до оксида серы (VI) ($S0_3$), который активно взаимодействует с водой, образуя капельки серной кислоты (H_2S0_4). Аналогичным образом в результате химических, фотохимических и физико-химических реакций между первичными загрязнителями и компонентами атмосферы образуются вторичные загрязнители.

7.2.2.5. Ионизирующие излучения

Экологически значимая характеристика атмосферы — присутствие в ней ионизирующих излучений, мощность которых меняется в зависимости от географического положения

и высоты над уровнем моря (см. разд. 3.1.1). Естественными источниками ионизирующих излучений являются космическое пространство, а также сосредоточенные в земной коре радиоактивные нуклиды урана, тория и актиния, выделяющие в процессе распада в атмосферу изотопы радона. Половину годовой **индивидуальной эффективной дозы**[1] облучения от земных источников радиации человек получает от невидимого, не имеющего вкуса и запаха тяжелого газа радона.

В природе радон встречается в двух основных изотопах: радон-222, член радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238, и радон-220, член радиоактивного ряда тория-232. Радон в 7,5 раз тяжелее воздуха и является альфа-радиоактивным. Период полураспада радона-222 равен 3,8 сут. После а-распада ядро радона превращается в ядро полония. Заканчивается ряд стабильным изотопом свинца.

Основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытых, непроветриваемых помещениях. Родон может проникать сквозь трещины в фундаменте, через пол из земли и накапливаться в основном в нижних этажах жилых зданий. Одним из источников радона могут быть конструкционные материалы, используемые в строительстве. К ним в первую очередь относятся такие материалы, как гранит, пемза, глинозем.

По мере подъема над поверхностью Земли (с удалением от источника) интенсивность облучения ионизирующими излучениями от земных источников постепенно уменьшается.

Другой естественный источник ионизирующего излучения — космос. Из него на Землю поступают космические лучи, представленные потоками высокоэнергетических протонов (примерно 90%), ядер атомов гелия (около 9%), нейтронов, электронов и ядер легких элементов (1%). Однако Земля имеет за-

[1] В соответствии с нормами радиационной безопасности (НРБ-99) *доза эффективная (эквивалентная) годовая* — это количество энергии ионизирующих излучений, поглощенных организмом человека за год, с учетом радиочувствительности к соответствующим видам излучения как всего тела, так и его отдельных органов и тканей. Она (доза) равняется сумме эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением радионуклидов внутрь организма за тот же год. Единица измерения в системе СИ — зиверт (Зв). Данное понятие характеризует меру риска возникновения отдаленных последствий облучения человека. До 1996 г. в соответствии с НРБ-76/87 использовалось менее точное понятие — *доза эквивалентная.*

щиту от радиационного воздействия, иначе жизнь на ней была бы невозможна. Мощную защиту человека и всей биосферы от космических заряженных частиц радиации создает магнитное поле Земли. Тем не менее часть частиц с высокой энергией преодолевает магнитосферу и достигает верхних слоев атмосферы.

Большинство оставшихся частиц космического излучения сталкивается с атомами азота, кислорода, углерода атмосферы, взаимодействует с их ядрами и рождает вторичное космическое излучение из протонов, тг-мезонов, ц-мезонов и нейтронов. В результате образуются радиоактивные изотопы ряда легких элементов — бериллия-7, углерода-14, трития (водорода-3) и др., а при взаимодействии космических лучей с аргоном — кремния-32, серы-35 и других радиоактивных элементов.

Поглощенная доза ионизирующего излучения — это отношение средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу, к массе этого вещества. В системе СИ единица измерения — грей (Гр). 1 Гр = 1 Дж/кг.

Радиационный фон, создаваемый космическими лучами, составляет половину всего облучения, получаемого человеком от естественных источников радиации. Защититься от такого невидимого «космического душа» невозможно, причем различные участки поверхности планеты подвергаются его воздействию по-разному. Северный и Южный полюсы получают больше космической радиации, чем экваториальные области (так как защитное влияние магнитного поля здесь ослаблено). По мере подъема интенсивность облучения вследствие воздействия космического излучения усиливается (рис. 7.8).

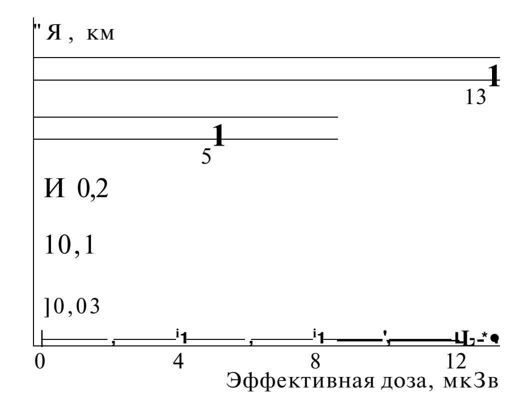


Рис. 7.8. Изменение уровня космического облучения с высотой над уровнем моря (по С. *В. Савенко)*

Антропогенными источниками ионизирующих излучений и ряда долго- и короткоживущих изотопов являются ядерные взрывы, атомная энергетика, включая объекты по переработке и захоронению ее отходов, установки рентгеноскопии в промышленности и медицине, теплоэнергетические устройства, работающие на угле, и др.

7.2.2.6. Ветры

Неравномерный нагрев поверхности Земли из-за времени года, облачности, способности водных объектов аккумулировать теплоту и прочие причины ведут к возникновению в тропосфере разнообразных потоков горизонтальной циркуляции воздушных масс (ветры, ураганы, циклоны, муссоны, пассаты и др.).

Главная причина переноса воздушных масс — подъем теплого легкого воздуха (конвекция) и замещение его снизу холодным. Сильнее всего за день прогреваются тропические области, где солнечные лучи падают на Землю почти отвесно. Воздух вблизи экватора устремляется вверх, приподнимая верхнюю границу тропосферы в тропиках до высоты около 17 км, что вдвое выше, чем у полюсов. Далее на больших высотах воздух растекается от экватора на север и юг (рис. 7.9).

Вертикальные конвекционные потоки переходят в горизонтальные. Теплый воздух в верхней части тропосферы частично охлаждается, отдавая теплоту в космическое пространство. В средних широтах он опускается, компенсируя убыль от конвекционного подъема, и устремляется обратно к экватору. Такова схема работы «тепловой машины» Земли.

Расчеты на основании приведенной схемы показывают, что время, за которое воздушная масса атмосферы перемещается на расстояние земного радиуса, составляет около недели. Неделя — характерное время изменения погоды. Она является границей между краткосрочной переменой погоды и долгосрочной, связанной с изменениями условий нагревания Земли. По тем же расчетам средняя скорость воздуха у поверхности Земли составляет около 10 м/с или 36 км/ч.

На высотах около 10 км, где плотность воздуха в 10 раз меньше, чем у поверхности, ветры дуют со скоростью около 100 м/с или даже нескольких сотен километров в час (от экватора воздушные потоки оттекают со скоростью около 200 м/с). Однако направлены они не на север и не на юг от экватора. Из-за *вращения Земли* верхние ветры и в Северном,

и в Южном полушариях отклоняются и становятся западными, а нижние ветры, направляющиеся к экватору, приобретают восточное направление. Такой восточный ветер, преобладающий на океанских просторах тропических широт, называют пассатом. Следовательно, схема на рис. 7.9 справедлива, но только как проекция направлений ветров на плоскость, проходящую через центр Земли и перпендикулярную плоскости экватора.

Конвективный подъем масс воздуха приводит к их попаданию в верхние разреженные слои атмосферы, а расширение сопровождается охлаждением. При температурах ниже точки росы происходит конденсация паров воды, образуются облака. Над тропиками на высоте 17 км воздух охлаждается до -75 °С (самое холодное место тропосферы) и становится очень сухим, так как почти вся его влага остается в облаках на высотах 1—5 км. Путь от экватора до средних широт, где воздух опускается к поверхности Земли, преодолевается очень быстро — приблизительно за сутки, поэтому поток теряет мало энергии. В результате опустившийся воздух увеличивает свою плотность, нагревается за счет этого и снова имеет температуру около +30 °С, почти такую же, как была у экватора, но при меньшей внутренней энергии из-за значительно меньшей влажности.

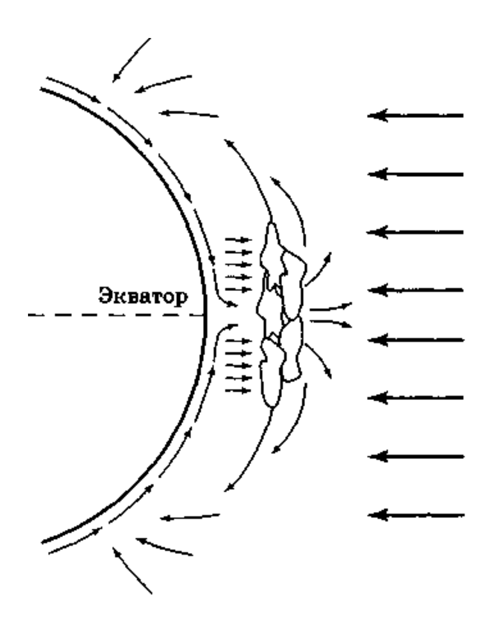


Рис. 7.9. Экваториальная конвекция — причина ветров

Опускание очень сухого и теплого воздуха происходит на широтах 25—30° в обоих полушариях. Именно там находятся крупнейшие пустыни Земли: Сахара в Африке, Аравийская и Тар в Азии, а также южные пустыни Калахари в Африке и несколько пустынь в Австралии. На Американском континенте пустынь меньше (из-за горной цепи Анды—Кордильеры), но расположены они на тех же широтах.

Воздух опускается сверху и растекается по поверхности с малой скоростью. Соответствующие широты — это область штилей. Они были названы моряками «конскими широтами», ибо во времена парусного флота суда, случалось, месяцами не могли выбраться из них. Жара и жажда были причиной гибели прежде всего перевозимых морем лошадей.

Почти такое же объяснение пассатов было дано в 1735 г. английским ученым Дж. Хэдли с той лишь разницей, что он рассматривал атмосферную циркуляцию от экватора до полюсов. В честь него тропический круговорот воздуха называют ячейкой Хедли.

Позже, в 1856 г. У. Феррел модифицировал схему Дж. Хэдли, дав объяснение средним направлениям потоков воздуха в полосе широт от 30—40 до 60—70°. Это, в частности, объяснило природу возникновения ураганных западных ветров у поверхности океана в Южном полушарии, известных как «ревущие сороковые». В честь У. Феррела названа ячейка атмосферной циркуляции в средних широтах с обратным направлением потоков (рис. 7.10).

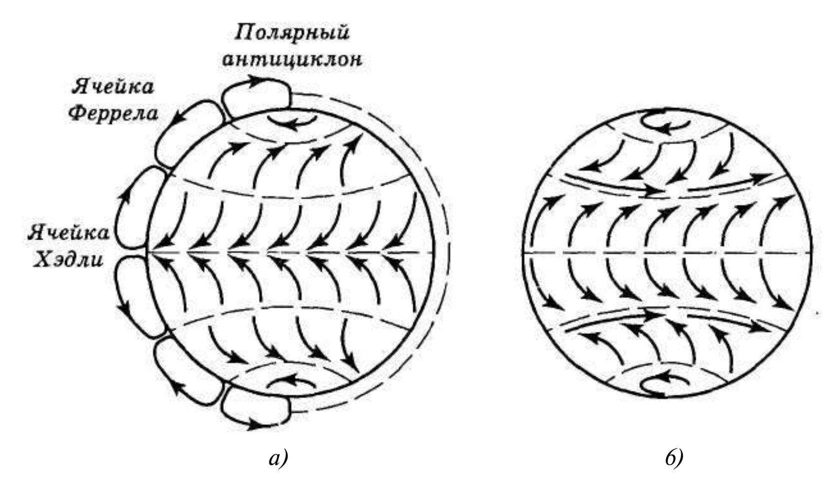


Рис. 7.10. Глобальная схема ветров в атмосфере Земли с ячейками циркуляции: *а* — у поверхности; *б* — в верхней части тропосферы

Наконец, ближе к полюсам циркуляция воздуха происходит снова в прямом направлении. Подробнее объяснение причин возникновения указанных ячеек и общей схемы циркуляции воздуха в атмосфере приведено в специальной литературе.

Рассмотренная схема описывает только очень усредненную картину земных ветров. Фактическая картина сильно отличается от нее. Одни отклонения связаны с рельефом суши и разным **альбедо**[1] суши, моря и их отдельных участков, другие — с погодой. Кроме того, пока невозможно отделить явления климата от погодных явлений. Переменчивость и неспокойствие — неотъемлемое свойство земной атмосферы. Несмотря на многие исследования, выполненные после Дж. Хэдли, исчерпывающего объяснения общей циркуляции атмосферы не найдено до сих пор.

7.2.2.7. Облака

Воздействие облачности на биосферу многообразно. Она влияет на альбедо Земли, переносит воду с поверхности морей и океанов на сушу в виде дождя, снега, града, а также ночью закрывает Землю, как одеялом, уменьшая ее радиационное охлаждение.

Облако, по выражению В. Даля, — это «туман на высоте». Туман является разновидностью *аэрозоля* — дисперсной системы, состоящей из капель жидкости или твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии в газовой среде (обычно в воздухе). К аэрозолям относятся также дым, пыль. В атмосфере туман представляет собой скопление свободно витающих в воздухе водяных капель или ледяных кристаллов, резко снижающих прозрачность среды.

Облака бывают трех основных видов: слоистые, кучевые, перистые.

Слоистые облака (от лат. *stratus* — настил, слой). Они образуются при охлаждении малоподвижных воздушных масс, что происходит либо ночью, когда с верхней границы облака тепловое излучение уходит в космос, либо при движении теп-

[1] Альбедо (от лат. *albus* — светлый) — коэффициент отражения, с помощью которого измеряется отражательная способность какой-нибудь поверхности. В данном случае это отношение количества солнечной энергии, отраженной Землей обратно в космическое пространство, к поступающей энергии.

лой влажной массы воздуха над холодной поверхностью Земли или холодной воздушной массой.

Кучевые облака (от лат. *kumulus* — груда, скопление). Они являются результатом конвекции (подъема) богатого влагой воздуха. **Адиабатическое**[1] охлаждение приводит к тому, что на определенной высоте влажность воздуха достигает насыщенного состояния и начинается конденсация влаги. Это и есть нижняя граница кучевого облака, которая остается практически неподвижной, хотя воздух постоянно проходит через нее. Над верхней границей облака (состоящей обычно не из капель, а из кристалликов льда) воздух, охлажденный и лишившийся влаги, растекается в стороны и опускается вниз вокруг кучевого облака. С самолета можно видеть, что большое кучевое облако имеет правильно расположенные конвекционные ячейки, ровными рядами или отдельными холмами возвышающимися в шахматном порядке.

При мощной конвекции рождается туча — грозовое кучевое облако. Его обычная высота 7—10, а у экватора 12—15 км. В туче существуют восходящие и нисходящие потоки воздуха. Вниз он увлекается падающими каплями дождя или льдинками.

Перистые облака (от лат. *kurros* — локон, завиток). Они состоят из мелких кристаллов льда и образуются на больших высотах в быстрых турбулентных струях ветра. Слоистые и кучевые облака вместе составляют гамму смешанных видов облаков.

Облака присущи и другим планетам с мощными атмосферами. Ими полностью скрыты поверхности Венеры и Титана, а поверхностью Юпитера и Сатурна считают верхние края облаков, ибо другой поверхности (ни жидкой, ни твердой) там нет. Химический состав облаков соответствует химическому составу атмосфер других планет: так, считают, что некоторые облака Венеры — это капельки кислоты.

Облака на Земле — существенная характеристика погоды. Преимущественно мощная облачность располагается над теми местами, где давление у поверхности низкое. Туда стремятся, закручиваясь из-за вращения Земли, поверхностные ветры (рис. 7.11). В центре такого **циклона** (от греч. *zyklone* — вращающийся, кольцо змеи) воздух поднимается вверх и, охлаждаясь, образует облака. В верхних слоях атмосферы циклона,

[1] Адиабатический (от греч. adiabatos — непереходимый) процесс — изменение состояния физического тела без притока или отдачи теплоты.

над областью пониженного давления, наблюдается прямо противоположное явление — давление атмосферного воздуха выше среднего, характерного для данной высоты. В верхней тро-

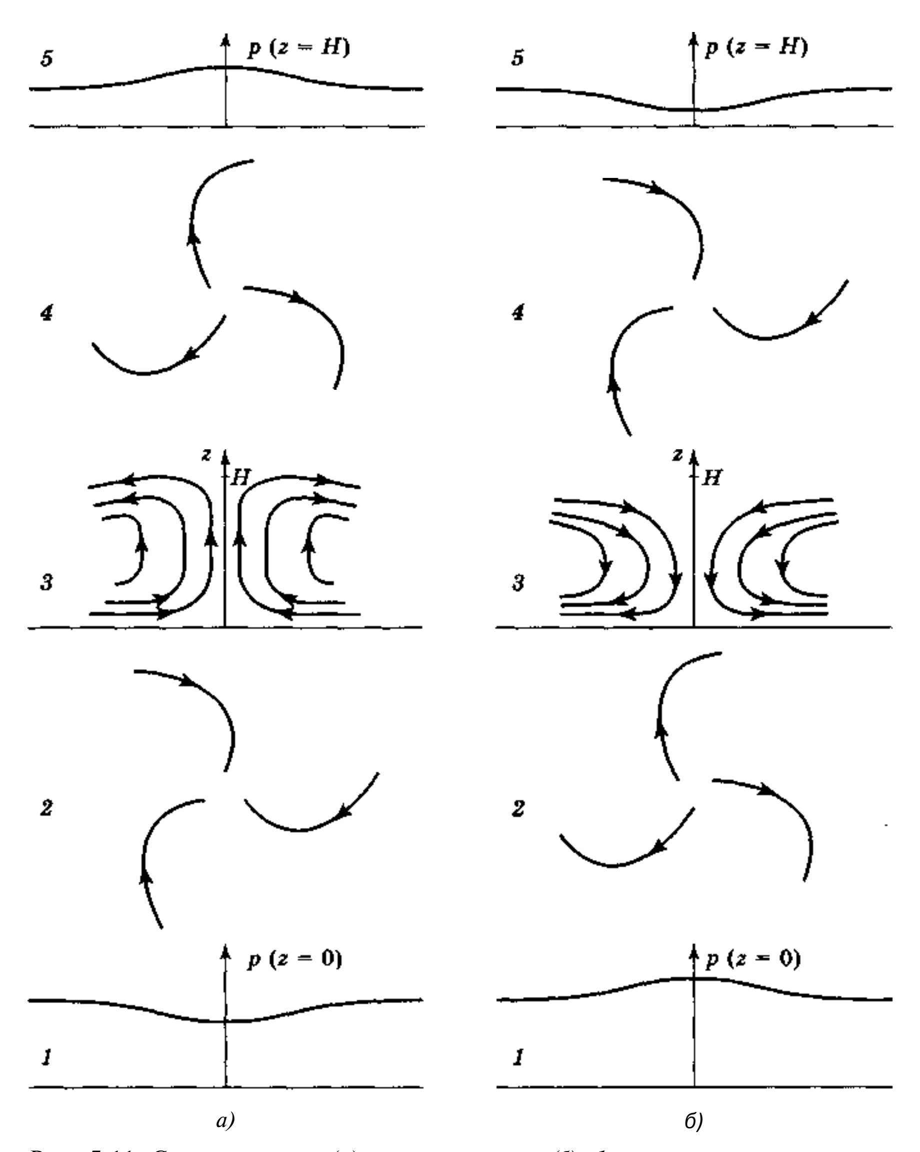


Рис. 7.11. Схема циклона (а) и антициклона *(б)*: *1* — давление у поверхности; *2* — направления поверхностных ветров; 3 — вертикальный разрез; *4* — направления высотных ветров; 5 — давление в верхней тропосфере; р — давление; *z* — высота над уровнем моря

посфере воздух из-за избыточного давления расходится от центра циклона.

Антициклон — область повышенного атмосферного давления у поверхности. В антициклоне сухой воздух опускается из верхней тропосферы, поэтому над местами, где он образовался, безоблачное, ясное небо.

Циклоны и антициклоны имеют диаметры около 200—3000 км и в среднем существуют около недели. При этом есть на Земле и постоянный циклон, и летом, и зимой стоящий около Исландии. Он существует благодаря встрече теплых вод Гольфстрима с холодным полярным воздухом.

Погода нашей страны зимой во многом определяется Сибирским антициклоном, главную роль в формировании которого играют Гималаи, не пропускающие на север влажный воздух Индийского океана.

Число циклонов и антициклонов по всей Земле в каждый момент времени примерно одинаково. Облачность закрывает около половины поверхности планеты.

7.2.2.8. Роль атмосферы в удержании теплоты

В связи с наклоном оси вращения Земли на 66,5° к плоскости эклиптики количество солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы, является функцией географической широты местности и времени года (рис. 7.12).

При прохождении через земную атмосферу интенсивность солнечного излучения заметно уменьшается. Ослабление зависит от свойств облачного покрова, содержания пыли в атмосфере, а также от суточных и сезонных изменений различных физических величин.

В среднем за год 25—30% приходящего солнечного излучения отражается облаками обратно в космическое пространство. Еще 25% излучения поглощается, а затем переизлучается облаками, пылью, газами, т. е. в виде нисходящей, диффузно рассеянной радиации. Примерно столько же поступает на поверхность Земли в виде прямой солнечной радиации.

Соотношение между прямым и рассеянным светом закономерно меняется в зависимости от географической широты. В полярных районах преобладает рассеянная радиация, составляющая до 70% суммарного лучистого потока, а в экваториальных областях она не превышает 30%. Это связано с лучшим прохождением лучей прямой радиации через атмосферу вертикально вниз, а не под малым углом к горизонту.

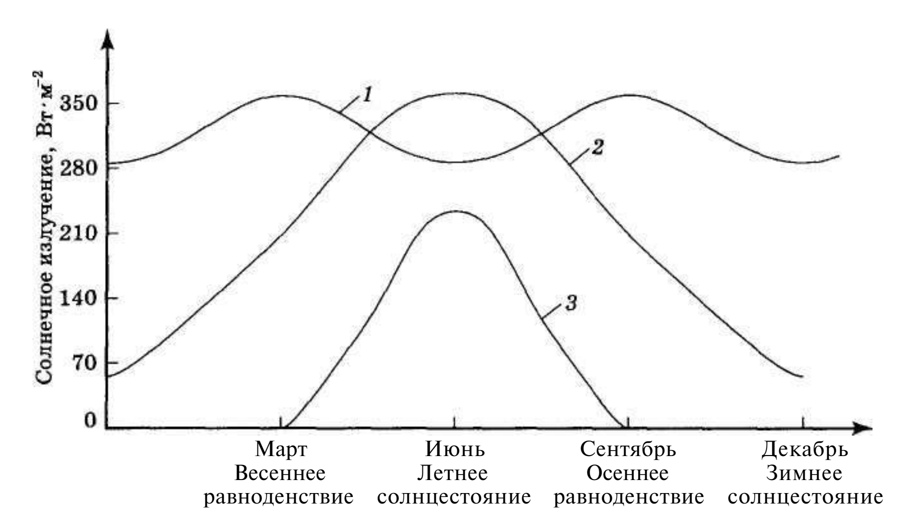


Рис. 7.12. Сезонные изменения интенсивности облучения поверхности Земли солнечной радиацией на разных широтах Северного полушария (по *Дж. Андерсону*): *1* — экватор; 2 — умеренная зона (40° с. ш.); *3* — полярная зона (80° с. ш.)

Часть излучения, достигающего поверхности, возвращается в атмосферу. Ее количество зависит от альбедо (отражающей способности) поверхности: снег отражает около 80—95% , травянистая поверхность — 20%, а темные почвы — только 8—10% потока приходящего излучения. Среднее альбедо Земли — 35—45%.

Большая часть поглощаемой водоемами и почвой солнечной энергии затрачивается на испарение воды. При конденсации паров выделяющаяся теплота идет на дополнительный нагрев атмосферы, основной нагрев которой происходит непосредственно при поглощении 20—25% излучения, поступающего от Солнца.

Атмосфера достаточно прозрачна для коротковолнового излучения Солнца и плохо пропускает длинноволновое (инфракрасное) излучение, переизлученное (не путать с отраженным!) нагретой земной поверхностью, что вызывает относительно усиленный нагрев приземных слоев воздуха, называемый *парниковым эффектом.* Атмосфера играет роль своеобразного «одеяла», удерживающего тепло аналогично стеклянной крыше парника. Пропускание атмосферой инфракрасного излучения зависит от содержания в ней «парнико-

вых» газов, к которым в первую очередь относятся пары воды[1] (H_20), диоксид углерода ($C0_2$), метан (CH_4), хлорфторуглероды **(фреоны[2]),** гемиоксид азота (N_20), а также тропосферный озон (0_3).

7.2.3. Гидросфера

Гидросфера (от греч. *hydor* — вода, *spahaire* — шар) — жидкая оболочка планеты. Человек, являясь сухопутным обитателем, воспринимает Землю прежде всего как сушу, однако при рассмотрении из космоса наша планета представляется планетой воды (рис. 7.13), ибо более 3/4 ее занимают водные поверхности океанов, морей, континентальных водоемов и ледников, причем 3/4 — это нижний предел величины, так как площадь, покрываемая гидросферой, существенно меняется и достигает в декабре — феврале 443 млн $км^2$ (табл. 7.4) или около 87% поверхности Земли, равной 510 млн $км^2$. «Как же не соответствует нашей планете имя Земля! Насколько правильнее было бы говорить — Океан» *{Артур Кларк).*

Зимой люди на значительной территории суши ходят «по колено» в твердой воде и, как все живое, не могут не учитывать наличие этой сезонной разновидности гидросферы в своей жизнедеятельности.





Рис. 7.13. Соотношение площади суши и водной поверхности на Земле: *а* — океаническое полушарие; *б* — материково-океаническое полушарие

[1] Пары воды, благодаря своему обилию, — наиболее значимый природный парниковый газ. Однако при конденсации в облака роль паров воды становится диаметрально противоположной, ибо облака, отражая солнечное излучение, препятствуют нагреву поверхности Земли.

[2] Фреон (от фр. — *freon),* русский синоним — хладон.

Таблица 7.4

Площадь, занимаемая гидросферой на поверхности Земли

Составляющие гидросферы	**Площадь**	
	млн $км^2$	%
Мировой океан (моря и океаны)	361,2	70,8
Оледенение	16,3	3,2 (-11% суши)
Озера и реки	2,3	1,7
Болота и сильно увлажненные земли	3,0	0,59
Прочие	-0,2	-0,04
Снежный покров (в декабре — феврале)	-60,0	-11,8
ВСЕГО	-443	-86,9

Понятие «гидросфера» включает все свободные воды Земли, которые не связаны химически и физически с минералами земной коры, т.е. могут двигаться под действием гравитационной силы либо теплоты. Гидросфера (табл. 7.5) состоит из всех океанов, морей, рек, озер, водохранилищ, болот, подземных вод, ледников, снежного покрова, включает атмосферную и почвенную влагу, а также биологическую воду (например, в организме человека содержится около 70% воды).

Таблица 7.5

Масса воды в гидросфере и ее составляющих

Составляющие гидросферы	**Масса воды • 10^{-3} млрд т***	**Доля, %**		**Время полного возобновления, лет**	**Условный, слой на поверхности Земли, м**
		запасов пресной воды	**общей массы**		
Мировой океан	1 370 000		91,55	2600—3000	2750
Подземные воды	100 000 (4000—200 000)	—	6,68	-5000	200

Окончание таблицы 7.5

Составляющие гидросферы	**Масса воды • 10~^{3} млрд т***	**Доля, %**		**Время полного возобновления, лет**	**Условный, слой на поверхности Земли, м**
		запасов пресной воды	**общей массы**		
в том числе пресные	4000	30,1	0,27		
но-ледовые образования	26 000 (24 000—30 000)	68,7	1,74	8000—10 000	**60**
Малые составляющие:					
озера	280 (175—750)	0,26 (пресные)	<0,02	7 (пресные)	
почвенная влага	100 (65—500)	0,02	**<0,01**	0,9—1,0	
болота	100	0,03	**<0,01**		
атмосферная влага	14,0 (12,9-17,0)	0,04	< 0,001	0,027	
реки	1,2(2,1)	0,006	< 0,0001	0,033—0,22	
Биологическая вода	1,1	0,003	< 0,0001		
ВСЕГО	**1** 500 496,3	**100**	**100**	2800	**3000**

* Обычно, оценивая гидросферу, считают, что 1 т природной воды занимает объем 1 $м^3$. Это неточно из-за колебаний солености и температуры морской воды, однако возникающая ошибка незначительна, а расчеты намного упрощаются. В скобках указаны иные оценки массы.

Количество воды в океане, основной составляющей гидросферы, не строго постоянно. Уровень океана за время его существования неоднократно падал на 120—150 м ниже современного, и тогда шельф становился сушей, а континентальный склон местами обнажался. «Ушедшая» вода накапливалась на

суше ледяными горами, подобными тем, что сейчас существуют в Антарктиде и Гренландии. В периоды оледенения доля поверхности Земли, занятая Мировым океаном, сокращалась примерно на 5%. Тем не менее океан всегда преобладал над сушей.

Вода обладает рядом уникальных особенностей, отличающих ее от большинства других жидкостей, что накладывает отпечаток на строение и жизнедеятельность организмов:

- высокая универсальная растворяющая способность; поверхностное натяжение; скрытая теплота плавления льда (336 Дж/г); теплопроводность; диэлектрическая проницаемость;
- полярность молекулы;
- полная прозрачность в видимом участке спектра;
- наивысшая среди жидкостей и твердых тел удельная теплоемкость;
- аномально высокая для жидкости удельная теплота испарения (2263,8 Дж/г при 100 °С);
- способность испаряться и сублимироваться при любой температуре;
- малая сжимаемость;
- источник кислорода, выделяемого при фотосинтезе, и донор ионов водорода в фотосинтетических реакциях;
- наличие максимальной плотности при +4 "С[1].

Морская вода, содержащая 3,5% солей, не имеет температурного максимума плотности, что является одним из ее важных отличий от пресной воды. Чем морская вода холоднее, тем тяжелее, вплоть до температуры -2 °С, когда в ней появляются кристаллы льда.

Следует подчеркнуть, что пресная вода, в отличие от большинства веществ при плавлении, сжимается, а при замерзании, наоборот, расширяется. Этим объясняется тот факт, что вода активно участвует в формировании облика поверхности Земли, разрушая материнские породы гор на мелкие частицы — первичный материал почвы. За миллионы лет вода уничтожает самые высокие горы, снося продукты их разрушения в пониженные места рельефа и вынося ручьями и реками в моря. Все реки планеты ежегодно выносят в моря и океаны около 20 млрд т твердых частиц, полученных при разрушении суши,

[1] Это свойство воды объясняет, почему в средних широтах зимой температура подземелий и на дне глубоких озер достаточно стабильна и равна примерно +4 °С.

и около 3 млрд т растворенных веществ. За год суша теряет 10—12 $км^3$ горной породы и почвы. В целом на Земле поверхность суши понижается за счет разрушения со скоростью около 90 мм за тысячелетие.

Кроме того, вода — единственное вещество на Земле, которое одновременно и в больших количествах встречается во всех трех агрегатных состояниях. Ряд особенностей воды подробнее рассмотрен ранее.

Если условно воду всей гидросферы равномерно распределить по поверхности планеты, то она покроет ее слоем толщиной около 3000 м. Если земной шар уподобить яйцу, то земная кора будет соответствовать скорлупе, а гидросфера — тончайшей, менее микрона толщиной, пленке на ее поверхности.

Тончайшая в масштабах нашей планеты пленка воды на ее поверхности оказывает стабилизирующее воздействие на условия среды, прилегающей к поверхности, в которой развивалась и существует биосфера. Средняя глобальная температура у поверхности планеты на протяжении всей ее истории, т. е. около 4,6 млрд лет, изменялась в очень незначительных пределах. Гидросфера за этот период никогда не кипела, не испарялась полностью и не замерзала. Все это говорит о достаточно узком диапазоне колебаний температуры, верхний предел которого заведомо был значительно ниже **100** °С, а нижний несколько выше 0 °С.

Учитывая, что при температуре более 50—60 °С (температура пастеризации) основная часть организмов не может существовать и что при средней температуре ниже +5 °С начался бы необратимый процесс полного оледенения планеты, можно сделать вывод о еще более узком возможном диапазоне температур на поверхности Земли. В стабилизации условий на поверхности Земли особенно велика роль Мирового океана, что обусловлено его массой и занимаемой площадью.

Несмотря на внушительный объем вод, на нашей планете лишь 2,5% приходится на долю пресной воды (с **минерализацией**[1] менее 1 г/л), причем в пресных озерах и реках ее содержится всего **0,007%** от общих запасов.

7.2.3.1. Возникновение и эволюция гидросферы

Гидросфера и ее составляющие части, круговорот воды, а также динамические явления прошли длинный путь эволюции. Они неоднократно менялись по массе, соотношению жид-

Минерализация — количество солей в граммах на 1 литр воды, г/л.

кой и твердой частей, вовлекаемых в кругооборот и движение, по скоростям и расстояниям переноса этих масс, по заключенным в них энергии, растворенным газам, твердым веществам и органике, взвесям. Эти изменения записаны в геологической летописи — слоях пород, сформировавшихся и формирующихся сейчас в водоемах, — которая пока еще не полностью расшифрована.

Вода столь широко распространена не только на Земле. Ее достаточно много в окружающем нас космическом пространстве. Так, полюса Марса покрыты ледяными шапками; спутники Юпитера, Сатурна и некоторых других планет — полностью льдом; ядра комет состоят изо льда (что экспериментально подтверждено при исследовании кометы Галлея); атмосфера Венеры имеет значительное количество паров воды и т. д. Однако на поверхностях иных планет вода существует только в твердом или парообразном состоянии, а на Земле она преимущественно жидкая.

По данным о скорости радиоактивного распада атомов различных элементов Земля образовалась из холодного газопылевого облака 4,6 млрд лет назад. Возраст самых древних пород, найденных в наши дни, достигает 3,8 млрд лет, причем они сохранили отпечатки стенок клеток самых древних одноклеточных организмов. Математические расчеты общего разнообразия генетического кода позволили немецким биохимикам установить его возраст, составивший $3{,}8 \pm 0{,}6$ млрд лет, следовательно, упомянутые породы отлагались в водоемах, где к тому времени уже должна была существовать жизнь, причем такая, которая успела активно включиться в биогеохимические процессы. Поэтому гидросфера с жидкой водой должна была появиться еще раньше, не позднее 4 млрд лет назад.

В настоящее время нет достоверных данных о составе первичной атмосферы и растворенных веществах в первичной гидросфере на начальном этапе их образования. Считают, что с определенного момента атмосфера и гидросфера стали быстро пополняться газами, выделявшимися при вулканических извержениях и излияниях лав, а также при дегазации в рифтовых долинах. Возникшая атмосфера была почти полностью лишена кислорода и потому имела восстановительный характер. Выбрасываемый вулканами и выделявшийся при дегазации диоксид углерода вместе с водяным паром обеспечили парниковые условия, что отразилось на ходе эволюции Земли.

Пополнение гидросферы нашей планеты водой вследствие непрерывной дегазации вещества мантии шло постоянно, но

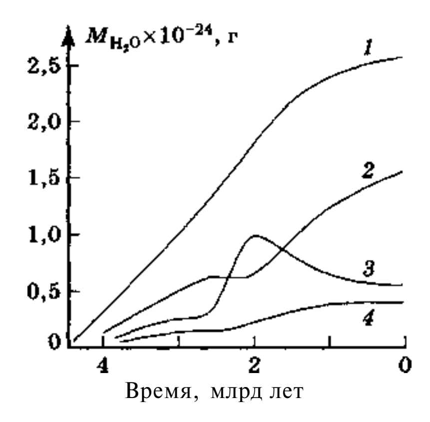


Рис. 7.14. Изменение массы *M* воды в гидросфере и земной коре (по *О. Г. Сорохтину): 1* — дегазированной из мантии; *2* — в гидросфере; *3* — связанной в океанической коре; *4* — связанной в континентальной коре

с разной интенсивностью. В период «белого пятна времени»[1] шел медленный рост за счет **ювенильных**[2] вод, а затем в течение примерно 1 млрд лет гидросфера росла достаточно быстро (рис. 7.14). В последние 2,5—2 млрд лет она стабилизировалась.

В это время срединно-океанические хребты и часть воды была затрачена на **серпентинизацию**[3] нижнего слоя океанической коры, в результате чего вода, пополнявшая гидросферу (вместе с углекислым газом), оказалась химически связанной **оливином**[4].

После преобразований океанической коры вновь начался рост массы океана, но примерно 1 млрд лет назад она приблизилась к современной, и темпы роста ее сильно замедлились. Процесс изменения массы гидросферы за счет дегазации тесно связан с эволюцией недр Земли и определяется скоростью роста плотного ядра планеты за счет сепарации в нем соединений железа.

[1] Период эволюции Земли 4,6—4 млрд лет на уровне современного знания заполнен только физически непротиворечивыми гипотезами и предположениями и потому назван «белым пятном времени».

[2] Ювенильные (первичные) — воды дегазирующейся магмы, впервые вступающие в круговорот воды на Земле. Экспериментально установлено, что лавы, формирующие базальты, содержат до 7% мае. воды, основная часть которой выделяется при остывании.

[3] Серпентинизация — многостадийный процесс изменения (гидратации — химической реакции с участием воды) природных магнезиальных силикатов (оливин и другие) с переходом в серпентин — минерал из класса силикатов, по кристаллической структуре относящийся к слоистым силикатам. Процесс протекает под воздействием термальных водных растворов.

[4] Оливин — магниево-железистый силикат $(Mg, Fe)_2[Si0_4]$, являющийся главным минералом ультраосновных пород мантии Земли. Он используется для изготовления огнеупорных кирпичей, в ювелирном деле и других областях.

Далеко не вся поступающая из недр Земли вода остается в составе гидросферы. Одна часть воды затрачивается на серпентинизацию вновь образующихся порций океанической коры, а другая вместе с осадочными толщами, накопившимися на ложе океана, погружается снова в недра Земли в зонах субдукции.

В процессе переплавки океанической коры после ее погружения в недра Земли вода играет важную роль, так как водонасыщенные силикатные слои плавятся при температурах около 700 °С, тогда как сухие при более 1000 °С.

На протяжении всей истории нашей планеты шло перемещение морских вод из исчезавших океанов во вновь возникавшие. В современных океанах движущаяся подобно конвейеру океаническая кора в целом моложе самих океанов. Максимальный возраст ложа океанов 150 млн лет, а обычно оно значительно моложе. В наши дни общий баланс прихода и расхода воды на Земле за счет геологического круговорота остается положительным и масса гидросферы непрерывно возрастает.

7.2.3.2. Мировой океан

Океаны и моря отождествляют с гидросферой неслучайно — они образуют ее основную массу или более 90%. Водный годовой баланс Мирового океана приведен в табл. 7.6.

Таблица 7.6

Годовой баланс воды в Мировом океане

Элементы прихода	**Количество, км^3**	**Элементы расхода**	**Количество, км^3**
Атмосферные осадки	407 **200**	**Испарения**	452 **600**
Сток рек	**40 000**		
Подземный сток (минуя реки)	2400		
Талые воды полярных областей	3000		
Итого	**452 600**	**Итого**	452 **600**

Рельеф дна. В середине XX в. с помощью эхолотов, автоматически измерявших глубину океана, составлена подробная

карта рельефа дна. Она начинается с полой материковой отмели или **шельфа** (от англ. *shelf* — полка), где глубина медленно увеличивается до 200 м. В среднем мелководная область вокруг материков простирается на 80 км. Далее дно имеет крутой континентальный склон с уклоном 3—5°, доходящий до глубин 2500 м. У побережья Цейлона средний уклон достигает 30°. В конце концов дно переходит в океаническое ложе — **абиссаль** с узкими глубоководными желобами, широкими трещинами — рифтами, срединноокеаническими и иными хребтами и обширными котлованами.

Почти гладкие равнины ложа с глубинами 3,7—6 км занимают около 76% площади Мирового океана. Высота горных хребтов измеряется от сотен до нескольких тысяч метров, местами они выступают над водой в виде островов. Самые высокие из них — Азорские острова в Северной Атлантике высотой 2500 м над водной поверхностью и около 9000 м относительно дна океана. Высокие горы и глубокие впадины океанского дна занимают всего около 1% земной поверхности.

Рельеф поверхности. Поверхность океана совсем не идеально гладкая, и местами на ней есть горы и впадины. Так, к югу от острова Шри-Ланка уровень воды опущен на 100 м, а у острова Новая Гвинея поднят почти на 80 м относительно земного эллипсоида. Северная часть Атлантики представляет собой плато высотой 67 м, а знаменитый Бермудский треугольник — нечто вроде котла глубиной в несколько десятков метров.

Кроме такого постоянного «рельефа», обусловленного гравитационными силами, на поверхности океана все время возникает и разрушается переменный «рельеф» в виде волн той или иной высоты и длины. Волны генерируют в основном ветры, хотя волнение наблюдается и без них. Они докатываются в зоны штиля из районов, где бушует буря, и называются *зыбью*. Причинами волн также являются приливы, изменения атмосферного давления, извержения подводных вулканов, землетрясения и др.

Температура и вертикальная структура океана. Вода наиболее сильно поглощает солнечную энергию среди всех прочих разновидностей поверхности Земли. Способность Мирового океана улавливать теплоту в несколько раз больше, чем у суши. От поверхности океана отражается только 8% солнечной радиации. Из-за особых тепловых свойств воды, включая уникально высокую теплоемкость, океан является накопителем солнечной энергии на планете. Нагрев происходит в основном

в экваториальном поясе примерно от 15° ю. ш. до 30° с. ш., а в более высоких широтах обоих полушарий теплота отдается. Основные переносчики накопленной солнечной теплоты — поверхностные течения океана.

Средняя температура поверхности океана составляет +17,8 °С, самая «горячая» поверхность — у Тихого океана, +19,4 °С, а самая холодная — подо льдом Северного Ледовитого океана, -0,75 °С. В среднем температуру поверхности Мирового океана оценивают примерно на 3,6 °С выше, чем температуру воздуха у поверхности Земли. Если бы можно было равномерно перемешать океан, то его средняя температура составляла всего 5,7 °С, однако быстро это сделать невозможно, и в этом заключается одна из причин стабильности температуры у поверхности Земли. Ветры, волнения и бури в течение года перемешивают слой воды в океане лишь до глубин **100—200** м. Таким образом, формируется верхний относительно тонкий слой — *слой перемешивания,* имеющий достаточно однородные характеристики температуры и солености по глубине[1].

Под слоем перемешивания в сравнительно тонком слое воды температура резко, почти скачком, падает на несколько градусов, поэтому он назван *слоем скачка* или *сезонным термоклином.* Ниже слоя скачка температура воды плавно опускается до глубины 1500 м, а соответствующий слой называют *главным термоклином.* В нем также происходит перемешивание, но очень медленно. Ниже **1500** м в слое, называемом *глубинным,* температура почти постоянна и меняется в пределах от 3 до 1 °С.

Продвижение вертикально вниз от слоя перемешивания, через сезонный и главный термоклины к глубинному слою сопровождается постоянным падением температуры и увеличением плотности воды, что обеспечивает большую устойчивость системы. Перемешивание нигде не прекращается, оно лишь сильно замедляется с глубиной.

Солевой состав. Суммарную массу растворенных солей Мирового океана оценивают в 48 **000 000** млрд т, и если бы соли осели на дно, то образовался бы слой толщиной 30 м.

[1] Согласно наиболее поздним экспериментальным данным, самый перемешиваемый верхний слой оказался прикрыт тончайшей пленкой, отличающейся от остальной массы воды температурой и соленостью. Эта пленка непрерывно разрушается и создается вновь.

Плотность соленой воды больше плотности пресной. Океанская вода средней солености имеет плотность 1,028 г/см^3 при температуре 0 °С и **1,026** г/см^3 при 15 °С. С повышением давления плотность воды растет незначительно. Так, на глубине 5 км при давлении около 50 МПа (500 атм) плотность морской воды при 0 °С равна **1,051** г/см^3.

Однако при таянии ледников, айсбергов и морского льда океанская вода становится менее плотной, несмотря на то что она при этом охлаждается: опреснение сильнее уменьшает плотность, чем охлаждение увеличивает ее. Поэтому айсберги — глыбы льда, отколовшиеся от ледников Антарктиды и Гренландии, плавают как бы на подушках из почти пресной, легкой воды, которая с окружающей соленой водой перемешивается довольно медленно. В разнонагретой воде температура выравнивается в **100** с лишним раз быстрее, чем в разносоленой воде ее соленость. Поэтому если над холодной пресной водой расположен теплый слой соленой воды, то возникает неустойчивое состояние, приводящее к перемешиванию (рис. 7.15).

В океане разность температур и солености невелика, но описанный процесс усиливает вертикальное перемешивание.

Газы в океане. Для воды характерно наличие растворенных газов. В океане «растворенная атмосфера» формируется как результат газообмена с земной атмосферой при участии биогеохимических процессов в толще воды и на дне, а также при дегазации мантии в районах рифтовых долин и подводных вулканов.

Течения. Атмосферная циркуляция, неравномерный нагрев поверхности, контрасты солености, возникающие в связи с изменчивостью испарения и осадков по акватории, температурные контрасты, силы притяжения Луны и Солнца и другие явления вызывают и поддерживают активное движение водных масс в Мировом океане. Наиболее изучены поверхностные

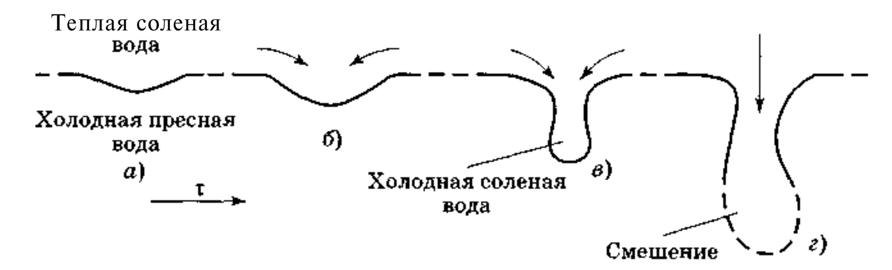


Рис. 7.15. Рост солевых пальцев в расслоенной воде по стадиям (а — *г)* развития процесса

течения (рис. 7.16), представляющие собой систему гигантских круговоротов, движущихся в Северном полушарии по часовой стрелке, а в Южном — против. Между ними существует несколько меньших по масштабу круговоротов с движением в противоположных направлениях. Кроме более или менее постоянных, в океане возникают различные непостоянные и периодические течения.

Средняя скорость поверхностных течений лежит в пределах **0,1**—0,2 м/с, хотя местами она достигает 1 м/с, а в течении **Гольфстрим** отмечены скорости до 3 м/с. Расход воды в гигантских поверхностных течениях составляет 10^7—10^8 м^3/с, что почти в 100 раз больше расхода самой крупной реки мира Амазонки. Эти течения представляют собой как бы сравнительно тонкую пленку на поверхности океана, так как ширина их обычно в **100—1000** раз больше глубины. Основной движущей силой поверхностных течений океана является ветер.

Поверхностные течения быстро затухают с глубиной уже на первых сотнях метров; на больших глубинах или у дна заметны лишь очень мощные течения. Так, в Гольфстриме или **Куросио**[1] движение воды сохраняется лишь до глубины 750—1500 м, а Антарктическое циркумполярное течение достигает дна.

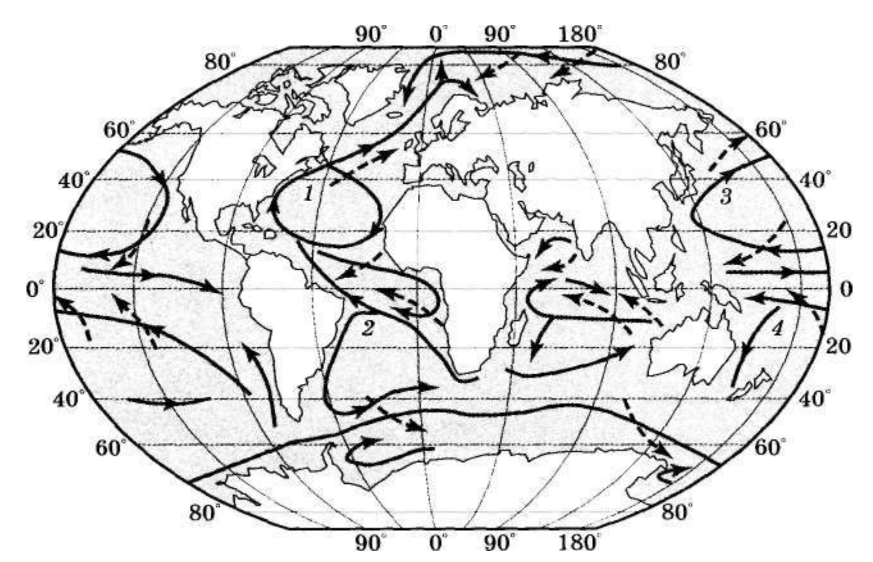


Рис. 7.16. Главные течения Мирового океана: *1* — Гольфстрим; *2* — Бразильское; 3 — Куросио; *4* — Восточно-Австралийское

Куросио (от япон. *Курошива* — черный поток (по цвету вод)).

Во многих случаях выявлены подповерхностные течения, расположенные ниже поверхностных и движущиеся в противоположном направлении. Глубинные течения океана изучены мало. Схема глубинной циркуляции построена с помощью расчетных методов и не очень точна. Тем не менее течения воды на больших глубинах зафиксированы экспериментально.

В конце XIX в. норвежский исследователь Арктики Ф. Нансен во время дрейфа в Северном Ледовитом океане заметил, что при постоянном ветре дрейф судна происходит не в направлении ветра, а под углом 20—40° направо от него. В 1905 г. шведский ученый В. Экман создал теорию ветрового течения в открытом глубоком океане, учитывающую возникающую из-за вращения Земли силу Кориолиса.

Согласно этой теории, поверхностная скорость течения глубокой воды примерно равняется значению, получаемому для мелкой воды, но под углом 45° по направлению ветра (направо в Северном полушарии и налево в Южном). При углублении вектор скорости постепенно поворачивается и на некоторой глубине, зависящей от географической широты места, он ориентирован уже в сторону, противоположную ветру, а еще несколько глубже — в сторону, прямо противоположную направлению поверхностного течения.

Расчеты показывают, что при средней скорости ветра на Земле, равной 10 м/с, и средней скорости поверхностного течения, равной 0,1 м/с, глубина, на которой течение поворачивает вспять, составляет около 100 м. Таким образом, водные массы в основном переносятся течениями в верхнем стометровом слое, а возникающее при этом явление турбулентности активно перемешивает этот слой.

В полярных широтах у кромки льдов происходит охлаждение и осолонение воды океана, наиболее характерное для приантарктических вод. Образующаяся более тяжелая вода, максимально насыщенная кислородом, погружается на дно и придонным потоком с незначительной скоростью 1—10 мм/с стекает в сторону экватора во всех океанах. Этому процессу препятствует естественная стратификация (расслоение) морской воды, и тяжелая вода погружается через описанную систему ячеек (или провалов), обусловленную рельефом дна и динамикой вод.

Обратный процесс — подъем глубинных вод, насыщенных биогенными элементами, осуществляется преимущественно через систему особых ячеек. Медленный подъем океанских вод в специальной литературе называют **апвеллингом** (от англ. *up* —

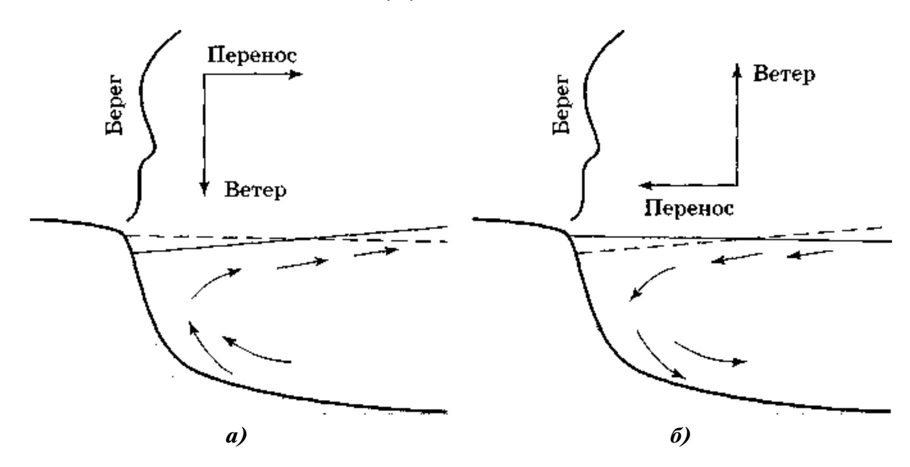


Рис. 7.17. Схема течений в прибрежной зоне в Северном полушарии: *а* — апвеллинг — подъем вод; *б* — даунвеллинг — опускание

вверх, *veiling* — источник, родник, течение воды), а их опускание — **даунвеллингом** (от англ. *daun* — вниз). Поскольку на глубине вода холодная, то температура поверхностных вод на экваторе на 2—3 °С ниже, чем в соседних тропиках. Таким образом, экваториальная область океанов — относительно холодное место планеты.

Помимо экваториальной зоны апвеллинга, подъем глубинных вод возникает там, где сильный постоянный ветер отгоняет поверхностные слои от берега больших водоемов. Учитывая выводы теории Экмана, можно констатировать, что апвеллинг происходит при касательном к берегу направлении ветра (рис. 7.17). Смена направления ветра на противоположное ведет к смене апвеллинга на даунвеллинг или наоборот. На зоны апвеллинга приходится всего 0,1% площади Мирового океана.

7.2.3.3. Подземные воды

Подземные воды — связующее звено для всей гидросферы Земли. Они же замыкают геологический круговорот воды. Однако о подземных водах известно меньше всего, особенно о глубоко залегающих, поэтому и оценки массы этих вод сильно расходятся. Преимущественно учитывают запасы воды только в верхнем 2—3-, редко 5-километровом слое от поверхности. Бурением скважин экспериментально доказано, что жидкая вода в недрах Земли может существовать и значительно глубже 5 км, а в отдельных случаях глубже 10 км.

С глубиной температура в земной коре растет, и в ней все больше образуется парообразной воды. На значительной глубине при высокой температуре вся вода переходит в пароводяную смесь, а в надкритических условиях[1] — в особое состояние, когда стирается разница между паром и водой. При этом молекулы воды приобретают скорость, характерную молекулам газов, а плотность ее приближается к плотности жидкости. Возникает своего рода водяная плазма.

По расчетам О. Г. Сорохтина подземные воды нашей планеты, находящиеся в жидком и парообразном состоянии, оцениваются величиной $1 \cdot 10^5$ тыс. км^3 или около 7% массы всей гидросферы. Остальная вода в количестве $8 \cdot 10^8$ млрд т (или в пересчете на жидкую воду $8 \cdot 10^5$ тыс. км^3) в земной коре является химически связанной, и ее к гидросфере не относят.

Существует много разных оценок массы подземных вод как жидких, так и химически связанных. Но точность этих оценок намного ниже точности подсчета массы Мирового океана, которая близка к 2% .

Подземные воды образуют разнообразные водоносные системы. Простейшая из них — пористый или трещиноватый пласт, заполненный водой и залегающий на водоупорном слое или между водоупорными слоями. Такие пласты нередко образуют взаимосвязанные сложные системы разных масштабов по площади и глубине залегания.

В толще земной коры по ее вертикальному разрезу выделяют несколько зон по интенсивности обмена с другими составляющими гидросферы, в основном с поверхностными водами. До глубины 0,1—0,5 км находится зона интенсивного (или активного) водообмена подземных вод, в первую очередь верховодка и грунтовые воды (рис. 7.18). Воды этой зоны тесно связаны с наземными водоемами — реками, озерами, болотами, океаном. Для них характерна наибольшая скорость движения, достигающая нескольких сантиметров в секунду. В среднем период полного обмена с поверхностными водами оценивается годами и столетиями.

Ниже, до глубин 1,5—2 км, находится зона затрудненного (замедленного) водообмена. Скорость движения воды здесь из-за уменьшения пористости и трещиноватости значительно меньше, а средние темпы возобновления запасов воды состав-

[1] Надкритические условия для воды возникают при давлении 21,8 МПа (218 атм) и температуре 374 °С для пресной воды, 425 °С и выше для насыщенных растворов.

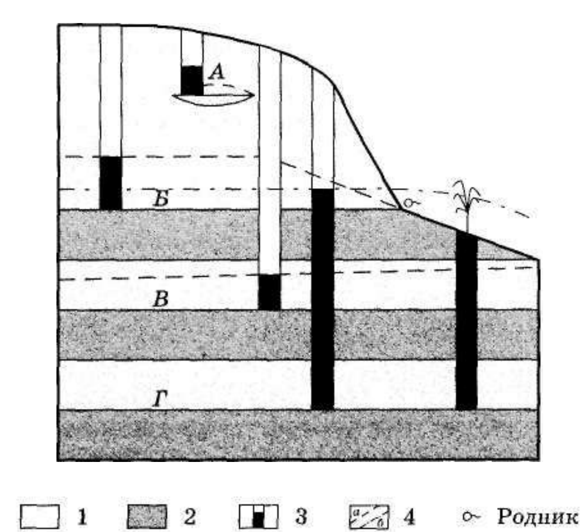


Рис. 7.18. Схема залегания подземных вод: *А* — верховодка; *Б* — грунтовые воды, образующие зону активного водообмена; *В* — безнапорные межпластовые воды; *Г* — напорные подземные воды; *1* — проницаемые породы; *2* — непроницаемые породы — водоупоры; *3* — буровые скважины и уровни воды в них, одна из них — артезианская — фонтанирует; *4* — уровни воды: *а* — свободный (у грунтовых вод); *б* — напорный (пьезометрический)

ляют десятки и сотни тысяч лет. Связь с поверхностными водами затруднена.

Глубже 2 км лежит зона пассивного водообмена, где средние темпы возобновления ресурсов подземных вод могут исчисляться миллионами лет и где нередко оказываются захороненными воды древних морских бассейнов.

Примерно в том же порядке подземные воды располагаются и по степени содержания растворенных солей — м и н е р а л и з а ц и и . В активной зоне водообмена обычны пресные воды с минерализацией до 0,1% (1 г/л) и преобладанием гидрокарбонатного иона (НСОд). В зоне затрудненного водообмена чаще встречаются солоноватые и соленые воды с минерализацией 1—3,5%, в таких водах часто преобладает сульфат-ион SO|~. В самых глубоких слоях в зоне пассивного водообмена обычны воды с минерализацией более 3,5% и преимущественно хлоридным составом, близким к морской воде. Кроме того, с глубиной появляется все больше термальных вод.

Огромные водоносные системы и бассейны найдены даже в самых засушливых и пустынных районах мира. Так, в вели-

чайшей пустыне Африки — Сахаре выявлено 10 крупных бассейнов подземных вод.

Подземные воды, как и все другие составляющие гидросферы, имеют свою растворенную «атмосферу». С повышением давления растворимость газов растет. В подземных водах на глубинах 1—4 км обнаружены воды с содержанием газов до 500 см^3/л, а в некоторых районах Западной Сибири даже 1000—1500см^3/л. При этом в океане в среднем содержится только 20 см^3/л газов. Общая масса газов, растворенных в подземных водах, видимо, превышает массу газов, растворенных в Мировом океане, и приближается к массе наземной атмосферы.

7.2.3.4. Льды и снега

Вода, образующая снежно-ледовые объекты, по количеству является одной из основных составляющих гидросферы. Она находится на поверхности Земли в твердом состоянии в виде постоянных или временных накоплений.

Основная масса льда заключена в ледниках и составляет примерно $2{,}6 \cdot 10^7$ млрд т воды; в Антарктическом ледниковом покрове сосредоточено $2{,}4 \cdot 10^7$ млрд т воды и порядка $0{,}2 \cdot 10^7$ млрд т — в Гренландском; остальная, незначительная часть воды — в горных и арктических ледниках, а также в других снежноледовых образованиях. Ошибка при оценке массы воды в ледниках приближается к 10% .

Ледниковый лед в твердом состоянии обладает вязко-пластическими свойствами, благодаря которым он течет со скоростью от 6 мм до 30 м в сутки. Из-за малой скорости темпы возобновления водозапасов в ледниках сравнимы с темпами возобновления воды в подземных водах глубоких горизонтов и определяются в первую очередь линейными размерами ледника.

Температура в ледниках с глубиной растет и у дна часто достигает точки плавления при данном давлении, что, например, характерно для большей части донного льда Антарктики. Горные ледники в летнее время часто имеют температуру всей своей толщи, близкую к температуре плавления. На всех ледниках и ледовых покровах в летний сезон идет таяние льда.

Ледниковые льды имеют и свою «атмосферу», которая содержится в пузырьках с атмосферными газами, захваченными и захороненными на момент образования данного слоя льда. При этом часть газов может быть переведена в твердые формы путем соединения молекул газа с несколькими молекулами во-

ды. В таком гигантском леднике, как Антарктический, где толщина льда местами превышает 4 км, на глубине 1 км пузырьки воздуха исчезают, как бы растворяясь во льду. При извлечении такого льда на поверхность пузырьки восстанавливаются. Чем с большей глубины извлечены образцы ледникового льда, тем более древние образцы атмосферы можно исследовать. В толще Антарктического ледникового покрова можно обнаружить воздух, захваченный при льдообразовании несколько сотен тысяч лет назад. В целом масса газов в ледниковых льдах незначительна.

Следующая по массе часть твердой гидросферы представлена морскими льдами. В момент наибольшей ледовитости в Северном полушарии количество льда оценивается в (3,2—-4,4) • 10^4 млрд т, а в Южном — 3 • 10^4 млрд т[1].

Значительная масса льда (2 • 10^4 млрд т) сосредоточена в зонах многолетних мерзлых пород, занимающих на суше 35 млн км^2. Эту часть воды в твердой форме можно рассматривать как часть подземных вод.

Важное значение имеет сезонный снежный покров, который при небольшой массе — 1,7 • 10^4 млрд т на всех поверхностях (морской лед, ледники, суша) в течение года значительно влияет на тепловой режим планеты и сток рек. На суше сезонный снежный покров в среднем занимает свыше 40 млн км^2 при массе 0,8 • 10^4 млрд т.

7.2.3.5. Малые составляющие гидросферы

По сравнению с уже рассмотренными ледовыми образованиями, подземными водами и особенно Мировым океаном остальные компоненты гидросферы, независимо от их важности для человека либо конкретного биоценоза, по массе ничтожно малы, даже вместе взятые. Поэтому их объединяют в особую группу — малые составляющие гидросферы. В нее входят: озера, реки, болота, почвенные воды и атмосферная влага. Содер-

[1] Площадь постоянного морского ледяного покрова составляет 14 млн км^2 (9 — в Северном и 5 — в Южном полушарии). В моменты наибольшей ледовитости в Северном полушарии площадь, занятая морским льдом, может достигать 18 млн км^2, а в Южном — 20 млн км^2. В среднем ежегодно морским льдом оказываются одновременно покрыты 26 млн км^2 поверхности Мирового океана с сезонными колебаниями ± 3 млн км^2 (т. е. более 7% его площади), а средняя масса этого льда равна 3,5- 10^4 млрд т.

жащаяся в живых организмах Земли вода должна бы быть отнесена к этой группе, однако особая преобразующая роль живого обуславливает отдельное рассмотрение биологической воды.

Озера. Первое место среди малых составляющих гидросферы занимают озера. Их суммарная масса оценивается в $2{,}8 \cdot 10^5$ млрд т, а по другим источникам $(1{,}76—7{,}5) \cdot 10^5$ млрдт[1]. Это составляет ничтожную массу всей гидросферы, причем только $1{,}5 \cdot 10^5$ млрд т приходится на проточные пресные озера, а $1{,}25 \cdot 10^5$ млрд т — на соленые.

Среди озер есть и такие, которые справедливо названы морями. Это крупнейшие озера мира: Каспийское площадью 371, Верхнее в Северной Америке — 82,1 и Виктория в Африке — 69,0 тыс. км^2. В Европе самые крупные озера: Ладожское — 17,7 и Онежское — 9,7 тыс. км^2. Самые глубокие озера: Байкал — 1620 и Танганьика в Африке — 1435 м.

С учетом динамики вод озера представляют собой маленькие модели океана на суше. Чем крупнее озеро и больше его глубина, тем ближе оно по своим качественным динамическим характеристикам к океану, и в этом отношении Каспийское море — действительно море. Как и в океане, вода в озерах летом часто разделена на слой перемешивания у поверхности, слой температурного скачка и более холодную глубинную воду, т. е. стратифицирована. Но многое определяется глубиной, размерами озера и географическим положением. Чем глубже и больше озеро, тем лучше выражена стратификация. Если же озеро неглубокое и небольшое, то слой перемешивания достигает дна и температура воды оказывается однородной по всей толще озера. Такое состояние называют *гомотермией.* Во многих озерах оно отмечается весной и летом.

В озерах умеренной зоны и высоких широт зимой под покровом льда наблюдается обратная стратификация — с глубиной температура воды увеличивается. Это связано с уникальной особенностью воды иметь наибольшую плотность при температуре +4 °С. Более плотная вода с такой температурой стремится ко дну, а более холодная (следовательно, и более легкая) поднимается вверх к ледяному покрову, где ее температура приближается к 0 °С.

В озерах, как и в океане, под воздействием ветра развиваются поверхностные течения, возможны подъемы глубинных

[1] Трудности оценки массы воды озер связаны с непрерывным изменением их размеров, а также с наличием на Земле бесчисленного количества малых озер, которые никто никогда не измерял.

вод и возникновение придонной циркуляции. Дополнительные течения вызываются втекающими и вытекающими из озера реками.

Озера очень разнообразны по набору и концентрации растворенных веществ, и в этом они ближе к подземным водам, чем к океану. Минерализация озер подчиняется географической зональности: Землю опоясывают солоноватые и соленые озера, характерные для засушливой и пустынной зон. Соленые озера часто бывают бессточными, т. е. они принимают в себя реки, но из них водные потоки не вытекают, а приносимые реками растворенные вещества постепенно накапливаются в озере в результате испарения воды с его поверхности. Вода некоторых озер настолько насыщена солями, что те кристаллизуются, образуя корки разных оттенков на ее поверхности или осаждаясь на дно. Одно из самых соленых озер обнаружено в Антарктиде — озеро Виктория, вода в котором в 11 раз солонее океанской.

Озера обычно моложе вмещающих их форм рельефа. Известны случаи образования озер в историческое время. В наше время крупное озеро, названное Сарезским, образовалось на Памире. Оно возникло при землетрясении в 1911 г. в долине реки Мургаб в результате гигантского обвала, перегородившего реку. Площадь озера всего 86,5 км, но ее глубина составляет примерно 505 м. Палеогеографические исследования свидетельствуют, что Средиземное море в недалеком прошлом неоднократно превращалось в озерный водоем и даже полностью испарялось, о чем свидетельствуют мощные толщи солей в его донных отложениях.

Особенно изменчива жизнь озер в зонах, прилегающих к ледникам моренных озер. Существуют эфемерные озера, которые регулярно, но ненадолго появляются в одних и тех же местах.

Болота. Следующей по размерам малой составляющей гидросферы являются болота, представляющие собой промежуточное состояние между озерами и подземными водами. Они отличаются особым растительным сообществом, приспособленным к избыточному увлажнению и недостатку кислорода в воде. Болота умеренных и высоких широт — своеобразные ловушки органического углерода, где происходит его накопление и захоронение, прежде всего в виде торфа, состоящего из неполностью разложившихся остатков растительности.

В тропических районах болота имеют вид переувлажненных земель, где органическое вещество в основном разлагается и торф не накапливается. В прибрежных морских районах болота и переувлажненные земли могут быть солеными и солоноватыми.

Общая площадь болот и переувлажненных земель оценивается в 3 млн км^2, а масса воды определена недостаточно точно, хотя она весьма невелика и обычно принимается равной $1 \cdot 10^5$ млрд т.

Почвенные воды. Они играют огромную роль в биосфере, так как обеспечивают влагой растительный покров и внутрипочвенные организмы. Благодаря воде в тонком слое почвы идет интенсивная биогеохимическая работа, обеспечивающая ее плодородие. По интенсивности обмена с подземными водами и атмосферой эта малая составляющая гидросферы подобна поверхностным водам, по вмещающей среде и воздействию в основном капиллярных сил — подземным водам, а по содержанию растворенных веществ, газов, органического материала и организмов — это совершенно особая среда. Ее масса оценивается в $(8—10) \cdot 10^3$ млрд т.

Реки. Они имеют наименьшее количество воды среди прочих малых составляющих гидросферы. Единовременно в руслах всех рек присутствует всего $(1{,}2—2{,}0) \cdot 10^3$ млрд т. Однако реки являются быстрыми транспортерами воды, поэтому при сравнительно малом единовременном ее запасе в своих руслах реки за год доставляют к устьям $45 \cdot 10^3$ млрд т воды, что в 30—40 раз больше, чем другие малые составляющие гидросферы.

Реки чрезвычайно разнообразны по размеру (табл. 7.8), глубине и скорости течения. Большая часть рек — это средние, малые и совсем небольшие речушки, длина которых может измеряться метрами. Крупных рек с длиной в тысячу километров и более на Земле немного — чуть больше полусотни. Общая протяженность их русел составляет 180 тыс. км, а площадь, с которой они собирают воду, — примерно половину площади суши.

Речные воды обычно пресные, их минерализация приведена в табл. 7.9. Общая минерализация речных вод неустойчива, она меняется по территории и по времени года. На Севере минерализация составляет около 50 мг/л, а на Юге — **500** мг/л. Однако существуют реки с солоноватой и даже соленой водой, являющиеся редким исключением. На севере России есть река Солянка с такой водой. Минерализация речных вод в среднем почти в 200 раз меньше, чем у морской воды. Реки текут обычно по тектонически унаследованным понижениям рельефа. Однако порой они создают новые русла или даже меняют направления течения.

Таблица 7.8

Крупнейшие реки мира

Название реки	Длина, км	Площадь бассейна, тыс. км	Расход воды в устье, $м^3/с$	Континент
Амазонка (с Мараньоном)	6437	6915	200 000	Южная Америка
Миссисипи (с Миссури)	5971	3268	18 000	Северная Америка
Нил	6670	2870	3000	Африка
Янцзы	5800	1808	34 000	Азия
Обь (с Иртышом)	5410	2990	12 800	То же
Хуанхэ	4845	771	1500	» »
Меконг	4500	810	14 800	» »
Амур	4444	1855	10 900	» »
Лена	4400	2490	16 800	» »
Конго	4370	3820	41 000	Африка

Таблица 7.9

Среднее содержание ионов в водах некоторых пресных наземных водотоков и водоемов

Название реки, водоема	Содержание ионов, мг/л					
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+, K^+	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Амур (около Хабаровска)	9,4	**2,1**	**2,4**	17,3	**3,6**	**3,2**
Волга (пос. Поляна)	48,9	10,1	11,9	63,7	61,9	14,9
Москва (около Звенигорода)	41,3	9,4	**2,3**	79,4	7,7	**4,4**
Урал	76,7	14,1	20,7	83,9	42,5	53,0
Нил	15,8	**8,8**	11,8	84,6	46,7	3,4
Нева	**7,8**	**2,5**	**2,8**	13,9	**5,0**	**4,6**
Байкал	15,2	**4,2**	**6,1**	59,2	4,9	**1,8**

Атмосферная влага. Из водяного пара в атмосфере Земли образуются облака, туманы, росы, изморозь, а также жидкие и твердые осадки. Все эти явления объединяют гидросферу с атмосферой.

Единовременно в атмосфере присутствуют $14{,}0 \cdot 10^3$ млрд т воды, но эта часть гидросферы постоянно возобновляется и «течет» вместе с воздушными потоками быстрее, чем вода в реках (нередко со скоростью в десятки метров в секунду), что позволяет водяному пару обогнуть земной шар всего за несколько дней. Масса атмосферной воды мала, но ее значение для гидросферы и биосферы в целом очень велико.

Атмосферная вода всегда пресная, так как она образуется в результате испарения с водной или увлажненной поверхности, а также при транспирации воды растениями. При этом в воздухе всегда содержится некоторое количество примесей, в число которых входят и водорастворимые вещества. Образующиеся в воздухе капельки растворяют одни и захватывают другие (нерастворимые) примеси, поэтому возможно выпадение дождей различного химического состава, наиболее известными из которых являются кислотные дожди, частой причиной образования которых является присутствие в атмосфере $S0_2$, NO_x, HC1.

До середины XX в. считалось, что выше тропосферы атмосфера сухая. Позже спектрографические исследования показали, что в слое от высоты 10,5 км и до верхней границы атмосферы воды содержится столько же, сколько и в двухкилометровом приземном слое. При этом в высоких слоях атмосферы важно не просто количество воды, а ее роль в протекающих разнообразных химических реакциях, определяющих стабильность структуры и термического режима в атмосфере.

На больших высотах в атмосфере вода существует либо в твердом состоянии, либо в виде отдельных молекул, что соответствует ее состоянию в космосе.

Многократное повторение цикла влагооборота приводит к тому, что ежегодно конденсируется и выпадает в виде осадков примерно в 40 раз больший объем (525 **100** млрд т) воды, чем ее одновременно присутствует в атмосфере, т. е. среднее время оборота составляет около 9—10 сут.

7.2.3.6. Биологическая вода

Масса воды, содержащаяся в живых организмах, оценивается в 1,1 • 10^3 млрд т, т. е. меньше, чем содержат русла всех рек мира. Биоценоз биосферы, заключая в себе относительно малое количество воды, тем не менее интенсивно прогоняет ее через себя. Особенно интенсивно это происходит в океане, где вода является и средой обитания, и источником питательных веществ и газов.

Основную массу биоценоза планеты составляют продуценты. В водных экосистемах это водоросли и фитопланктон, а в наземных — растительность. В водной среде растения непрерывно фильтруют воду через свою поверхность, а на суше они, как правило, извлекают воду корнями из почвы и удаляют (транспирируют) наземной частью. Так, для синтеза одного грамма биомассы высшие растения должны испарить около 100 г воды.

Наиболее мощные системы транспирации на суше — это леса, которые способны прокачать через себя всю массу воды гидросферы за 50 тыс. лет; при этом планктон океана профильтровывает всю воду океана за год, а морские организмы все вместе — всего за полгода.

В биосфере работает сложный фильтр фотосинтеза, в процессе которого вода разлагается и вместе с диоксидом углерода используется при синтезе органических соединений, необходимых для построения клеток организмов. Всю массу воды гидросферы фотосинтезирующие живые организмы могут разложить примерно за 5—6 млн лет, а другие организмы примерно за такой же срок восстанавливают потерянную воду из отмирающей органической массы. Таким образом, биосфера, несмотря на ничтожный объем заключенной в ней воды, оказывается самым мощным и сложным фильтром гидросферы на Земле.

Каскад биологических фильтров пропускает через себя массу воды, равную массе всей гидросферы за время от полугода до миллионов лет. Поэтому можно утверждать, что гидросфера — это продукт живых организмов, среда, которую они создали сами для себя. Академик В. И. Вернадский выразил это тезисом: «Организм имеет дело со средой, к которой он не только приспособлен, но которая приспособлена к нему».

7.23.7. Круговорот воды

Гидросфера отличается динамичностью, движущей силой которой служит круговорот воды. Круговорот воды между сушей и океаном через атмосферу оказывается весьма сложной системой, включающей частные круговороты и разветвленный каскад фильтров, в том числе биосферный, пройдя через который полностью или частично вода в конце концов снова оказывается в основном поверхностном хранилище воды — Мировом океане.

В большинстве случаев для коротких промежутков времени (до десятков лет) можно считать, что обмен водой между основными составляющими гидросферы сбалансирован. Однако исследования изменений уровня Мирового океана за последние 100 лет выявили его подъем со скоростью 1 мм в год, что означает ежегодный прирост объема воды на 350 км^3. Этот процесс может привести к серьезным последствиям — в исторически короткий срок (т. е. практически скачком) уровень океана может повыситься на 5—7 м.

Причин, вызывающих изменение уровня Мирового океана, много. Среди них как относительно понятные, так и малоизученные. Вероятно, есть и такие, о которых пока никто не догадывается и их, следовательно, не учитывают. Одной наиболее явной причиной является постоянно усиливающийся «парниковый эффект»; другой достаточно известной причиной — рост массы гидросферы за счет кристаллизации магмы, поступающей из недр Земли в районах рифтовых зон и вулканизма, хотя увеличение объема воды в этом случае оценивается всего в 1 млрд т или 1 км^3. В целом рост массы гидросферы характерен для ее эволюции.

Круговорот воды — исключительно важное явление, ибо обеспечивает сушу пресной водой, которая все время возобновляется (рис. 7.19). Под воздействием солнечного тепла вода нагревается и испаряется с поверхности водоемов. Переносимые воздушными течениями пары воды затем конденсируются и выпадают в виде дождя и снега на сушу и поверхность водоемов.

Основная масса испарившейся воды, равная $4{,}5 \cdot 10^5$ млрд т/г, выпадает на поверхность Мирового океана, так и не попав на континенты. Эта часть круговорота почему-то называется *малой* или *океанической.*

Океаны неодинаково активны во влагообороте. Много воды испаряется с поверхности Индийского океана, поскольку он

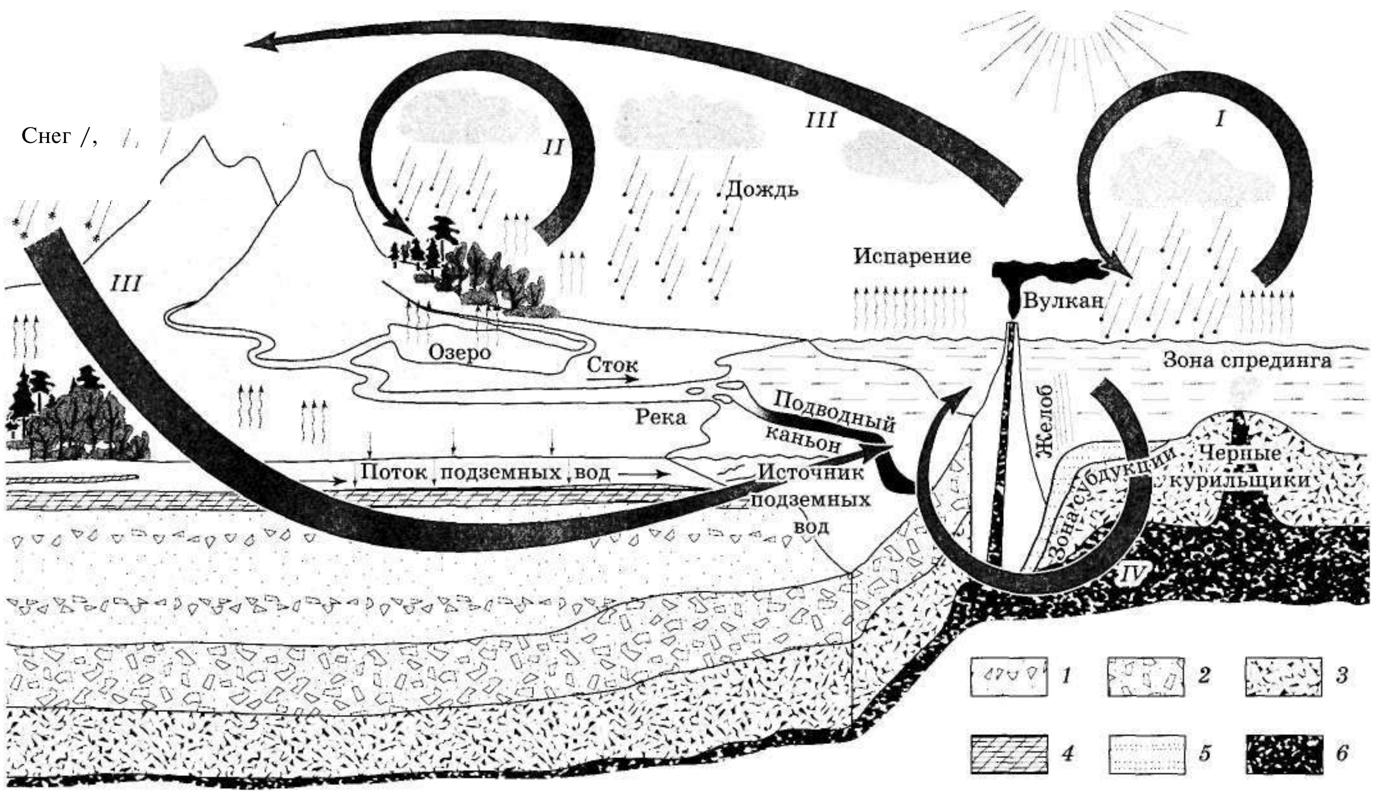


Рис. 7.19. Схема круговорота воды на Земле: / — над океаном; *II* — над сушей; *III* — над сушей и океаном; *IV* — геологический круговорот; *1* — осадочные породы; *2* — граниты, *3* — базальты; *4* — водоупор; *5* — морские осадки; *6* — мантийное вещество

преимущественно расположен в тропических и субтропических широтах. А в Тихом океане выпадают осадки, превышающие испарения с его поверхности.

Вынесенная на сушу часть испарившейся океанической влаги включается в круговорот воды на суше, где влага испаряется с поверхности всех водоемов — рек, озер, болот и т. д. Воду испаряют и растения, откачивая ее корнями из грунта. Порой с поверхности суши, покрытой растительностью, воды может испаряться больше, чем с водной поверхности. Так, эвкалипт при благоприятных условиях испаряет воды до 150 л/сут, а береза в умеренной полосе — только 20 л за тот же период.

На суше вода неоднократно выпадает в виде осадков, образуя местные круговороты. Благодаря круговороту воды гидросфера является планетарной транспортной системой, которая перемещает продукты эрозии с более высоких на более низкие уровни и в конечном итоге с суши в океан и другие водоемы. Вместе с нерастворимыми продуктами эрозии вода переносит растворенные вещества и органику. За миллиарды лет транспортная система гидросферы вынесла с суши в океан на каждый килограмм воды почти 0,6 кг разрушенных горных пород.

Гидросфера служит также планетарным аккумулятором неорганического и органического веществ, которые приносится в океан и другие водоемы реками, атмосферными потоками, а также образуются в самих водоемах.

7.2.3.8. Вода как природный ресурс

Водные ресурсы — это пригодные для употребления пресные воды. Они заключены в реках, озерах, подземных горизонтах, ледниках. Пары воды в атмосфере, морские воды так же, как и абсолютное большинство полярных льдов и воды наиболее глубоких подземных горизонтов, в настоящее время не применяются и рассматриваются в качестве потенциальных водных ресурсов. Их будущее освоение зависит от совершенствования техники добычи, ее экономической обоснованности, а также от решения часто непредсказуемых негативных экологических проблем, возникающих при использовании нетрадиционных источников воды.

Значение воды в мировом хозяйстве огромно. Она находит применение во многих отраслях: в энергетике, промышленном, коммунальном водоснабжении, а т^кже при ороше-

нии сельскохозяйственных угодий. В ряде случаев ее используют не только для водозабора, но и в качестве транспортных магистралей, рекреационных зон, водоемов для рыбного хозяйства.

Доступные водные ресурсы рек слагаются из двух составляющих — поверхностного и подземного стока.

- *Подземная составляющая стока* — наиболее ценная в хозяйственном отношении, так как она в меньшей степени подвержена сезонным и суточным колебаниям объема. Кроме того, подземные воды реже загрязняются. Именно они формируют преобладающую часть «устойчивого» стока, при освоении которого не требуется сооружения специальных регулирующих устройств.
- *Поверхностная составляющая стока* включает в себя паводковые и талые воды, обычно быстро проходящие по руслам рек. Общий объем доступных водных ресурсов мира оценивается в 41 тыс. км^3/г, из которых только 14 тыс. км^3/г составляют устойчивую часть.

Современное общемировое потребление пресной воды в 80-х годах прошлого столетия составило 4—4,5 тыс. км^3/г. По прогнозам на конец второго тысячелетия будет использоваться ежегодно 5,7 тыс. км^3 пресной воды, а еще 8,5 тыс. км^3 — загрязняться сточными водами (объем которых составит 1,3 млн км^3), что равно 21% полного или 61% устойчивого стока.

Большой проблемой является то, что пресный водозапас рассредоточен по континентам неравномерно. На год каждый житель Земли в среднем обеспечен 7,5 тыс. м^3 воды. В Европе норма водообеспечения ниже — 4,7, а в Азии всего 3,37 тыс. м^3. Человечество уже столкнулось с проблемой ограниченности водных ресурсов, а в ряде отдельных регионов планеты ее нехватка ощущается особенно остро.

7.2.4. Литосфера

Литосфера (от греч. lithos — камень, sphaire — шар) — верхняя «твердая» (каменная) оболочка Земли, постепенно переходящая с глубиной в сферы с меньшей прочностью вещества. Она включает в себя земную кору и часть верхней мантии Земли.

7.2.4.1. Строение литосферы

Характерная особенность верхней мантии — ее расслоенность (рис. 7.20), установленная геофизическими методами исследований. На глубине около **100** км под материками и 50 км под океанами ниже подошвы земной коры находится **астеносфера** (от греч. *asthenes* — слабый, *sphaire* — шар). Это слой, обнаруженный в 1914 г. немецким геофизиком Б. Гутенбергом. В данном слое установлено резкое снижение скорости распространения упругих колебаний, что объясняют размягченностью вещества в нем. Предполагают, что вещество там находится в твердо-жидком состоянии; твердые гранулы окружены пленкой расплава.

Выше астеносферы породы мантии находятся в твердом состоянии и совместно с земной корой образуют литосферу. Таким образом, считается, что мощность литосферы составляет 50—200 км, в том числе земной коры — до 75 км на континентах и 10 км под дном океана.

Ниже астеносферы располагается слой, в котором плотность вещества возрастает, что увеличивает скорость распространения сейсмических волн. Слой назван в честь русского ученого Б. Б. Голицина, впервые указавшего на его существование. Предполагается, что он состоит из сверхплотных разновидностей кремнезема и силикатов.

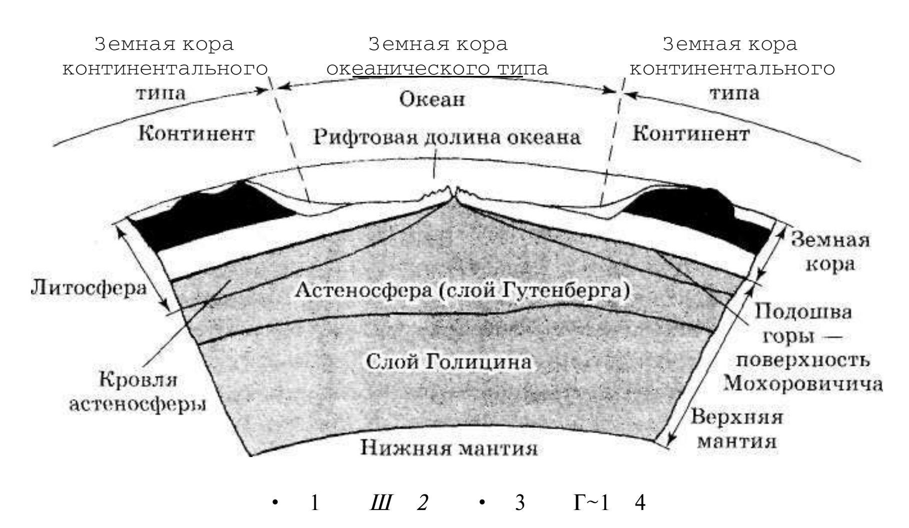


Рис. 7.20. Строение литосферы и ее положение относительно мантии Земли: *1* — осадочный слой; *2* — гранитный слой; *3* — базальтовый слой; *4* — верхняя мантия

Верхняя часть земной коры, постоянно видоизменяемая под влиянием механического и химического воздействий погодно-климатических факторов, растений и животных, выделяется в отдельный слой, называемый *корой выветривания.*

7.2.4.2. Вещественный состав земной коры

Химические элементы. В конце прошлого столетия американский геохимик Фрэнк У. Кларк (1847—1931) задался целью установить состав земной коры и, проанализировав около **6000** горных пород, в 1889 г. впервые получил среднее содержание различных элементов. В его честь русский геохимик и минералог А. Е. Ферсман предложил среднее содержание химических элементов в земной коре называть **клерками**[1]**.**

Более поздние исследования показали, что в целом результаты Кларка были близки к истине.

В настоящее время установлено, что более чем на 80% земная кора состоит из кислорода, кремния и алюминия (табл. 7.10).

Таблица 7.10.

Кларки наиболее распространенных химических элементов

Химический элемент		**Кларк, %**	**Химический элемент**		**Кларк, %**
наименование	**символ**		**наименование**	**символ**	
Кислород	**O**	46,6—49,1	Натрий	**Na**	2,01—2,83
Кремний	**Si**	26,0—29,5	Калий	**K**	2,35—2,59
Алюминий	**Al**	7,45—8,14	Магний	**Mg**	1,79—2,35
Железо	**Fe**	4,20—5,00	Водород	**H**	до 1
Кальций	**Ca**	2,71—3,63	ИТОГО		более 99%

Менее всего земная кора содержит инертных газов — гелия, неона и радона, что связано с их высокой подвижно-

[1] Термин «кларк» в настоящее время используется также и для количественной оценки среднего содержания химических элементов в атмосфере, гидросфере, живом веществе биосферы, Земле в целом, горных породах, космических объектах и т. п. Выражается в единицах массы (% , г/т и др.) или в атомных процентах.

стью: они легко переходят в атмосферу, откуда рассеиваются в космическом пространстве. Одновременно земная кора пополняется космическим веществом, выпадающим в виде метеоритов и космической пыли.

Со временем некоторые химические элементы, в частности радиоактивные, трансформируются. На этом основании предполагают, что кларки урана и тория в минувшие геологические эпохи были значительно выше, а свинца — ниже, чем сейчас. Это относится ко всем элементам и изотопам, подверженным изменениям. По А. А. Саукову, 2 млрд лет назад атомов изотопа U^{235}, имеющего период полураспада $7{,}1 \cdot 10^8$ лет, на Земле было в 6 раз больше, чем сейчас.

Кларки химических элементов в современных горных породах следующие: в среднем в 1 $м^3$ содержится железа 130 кг, алюминия 230 кг, меди 0,26 кг, олова 0,1 кг. В природе встречаются участки, где фактическое содержание того или иного химического элемента значительно выше его кларкового значения. Такие участки геологи исследуют с целью поиска месторождений полезных ископаемых.

Минералы. Химические элементы земной коры образуют естественные соединения, состоящие из одного, но чаще всего из нескольких элементов. **Минералы** (от лат. minera — руда) — однородные по составу, внутренней структуре и свойствам твердые химические соединения. Иногда к минералам относят и жидкие природные вещества — жидкую ртуть, воду, нефть.

Известно более 3 тыс. минералов, большинство из которых являются кристаллами и обычно имеют форму многогранников. В строении земной коры существенную роль играют всего несколько десятков минералов, называемых породообразующими. Наиболее распространены из них — полевые шпаты (55%), иные силикаты (15%), кварц (12%), различные виды слюды (3%), магнетит и гематит (3%).

Минералы отличаются друг от друга по внешним признакам, к которым относят облик кристаллов, цвет самого минерала, цвет его черты[1], твердость, плотность, спайность[2] и др., а также химическому составу и структуре.

[1] Цвет черты — цвет следа, остающегося на матовой шероховатой поверхности фарфоровой пластины, оцарапанной каким-нибудь минералом. Обычно он совпадает с цветом самого минерала, но иногда резко отличается. Так, черный гепатит имеет красную черту.

[2] Спайность — способность минералов раскалываться по ровным плоскостям в определенных кристаллографических направлениях.

Чем выше природный кларк химического элемента, тем больше минералов, в которые входит этот элемент. Кислород встречается почти в половине известных минералов. Так, большое количество химически связанного кислорода находится в **силикатах** (от лат. *silicis* — кремень), относящихся к одному из важных классов минералов.

Горные породы. В земной коре минералы группируются в естественные ассоциации — горные породы. Выделяют магматические, осадочные и метаморфические породы.

Магматические (изверженные) горные породы. Они образуются при остывании расплавленных магм, поднимающихся из глубин Земли к ее поверхности. Различают глубинные породы, если магма застыла на глубине, и излившиеся, если остывание произошло уже на поверхности. Магматические породы состоят преимущественно из силикатов и алюмосиликатов, наиболее важными компонентами которых являются кремнезем ($Si0_2$) и глинозем ($A1_20_3$). Дальнейшая классификация ведется прежде всего в зависимости от содержания в породе кремнезема — ангидрида кремниевой кислоты (табл. 7.11).

Таблица 7.11

Деление магматических пород по содержанию диоксида кремния

Породы	**Содержание $SiO_г$ %**	**Характерные породы**	
		глубинные	**излившиеся**
Ультраосновные*	Менее 40	Дунит, пироксенит, перидотит	
Основные*	40—52	Габбро	Базальт, долерит
Средние	52—65	Диорит	Андезит
Кислые	Более 65	Гранит, гранодиорит	Дацит, липарит

Ультраосновные и основные породы содержат много оснований (соединений кальция, магния, железа и др.) и бедны кремнекислотой.

Осадочные горные породы. Они образуются путем переотложения на поверхности Земли или на дне морей, озер, болот, рек продуктов разрушения различных коренных

пород. Ими покрыто более 75% поверхности континентов. Осадочные породы накапливались и уплотнялись иногда миллионы лет. С ними связаны такие важнейшие полезные ископаемые, как нефть и природный газ, уголь, железо, алюминий, золото и др.

В зависимости от происхождения осадочные породы делят на обломочные, глинистые, химические и биохимические.

Обломочные породы. Это продукты механического разрушения коренных горных пород. Их классифицируют по размерам обломков (в мм):

грубообломочные породы	более 1
песчаные породы	0,1—1,0
алевритовые фракции	0,01—0,1

Обломочные породы могут быть разделены на рыхлые и сцементированные, а также на угловатые и окатанные (округленные).

Угловатые грубообломочные породы — древса (1—10 мм), щебень (10—100 мм), глыбы (более 100 мм), а округленные — гравий,галька, валуны.

Рыхлые песчаные породы — пески, а сцементированные — песчаники.

Алеврит (от греч. *aleuron* — мука) — разновидность рыхлой осадочной горной породы, по составу является промежуточной между песчаными и глинистыми породами. Размер главной массы зерен 0,01—0,1 мм.

Глинистые породы. Они состоят из мельчайших минеральных частиц размерами менее 0,01 мм и содержат свыше 30% тонкодисперсных частиц размером менее 0,001 мм. По минеральному составу глины резко отличаются от типичных обломочных пород, они состоят преимущественно из кремнезема и глинозема.

Глины обладают пластичностью и низкой водопроницаемостью, благодаря которой они играют роль водоупорных горизонтов подземных вод.

Химические и биохимические породы. Они образуются в результате химических реакций или выпаривания, либо при косвенном участии биологических организмов, а также при концентрации их тел и скелетов. К данной группе относятся такие широко известные породы, как бокситы, фосфориты, бурые железняки, известняки, мел, доломиты, гипс, бурые и каменные угли, горючие сланцы и др.

Метаморфические горные породы. Они образуются путем глубокого преобразования магматических и осадочных пород под действием огромных давлений и высоких температур на большой глубине. В результате получаются породы, отличающиеся от исходных минералогическим составом.

К метаморфическим породам относятся твердые глинистые и слюдянистые сланцы (получающиеся из мягкой сланцевой глины), мрамор (из известняков), кварциты (из песчаников), яшмы, серпентиниты (из ультраосновных пород) и др. Эти породы обычно более устойчивы к выветриванию, чем другие.

Геологические циклы. Взаимное расположение и очертание континентов и океанского дна постоянно изменяются. В пределах верхних оболочек Земли происходит непрерывная постепенная замена одних пород другими, называемая большим круговоротом вещества. Геологические процессы образования и разрушения гор являются величайшими энергетическими процессами в биосфере Земли.

В пределах литосферы горные породы постоянно, хотя и очень медленно, перемещаются, образуя геологические цик-

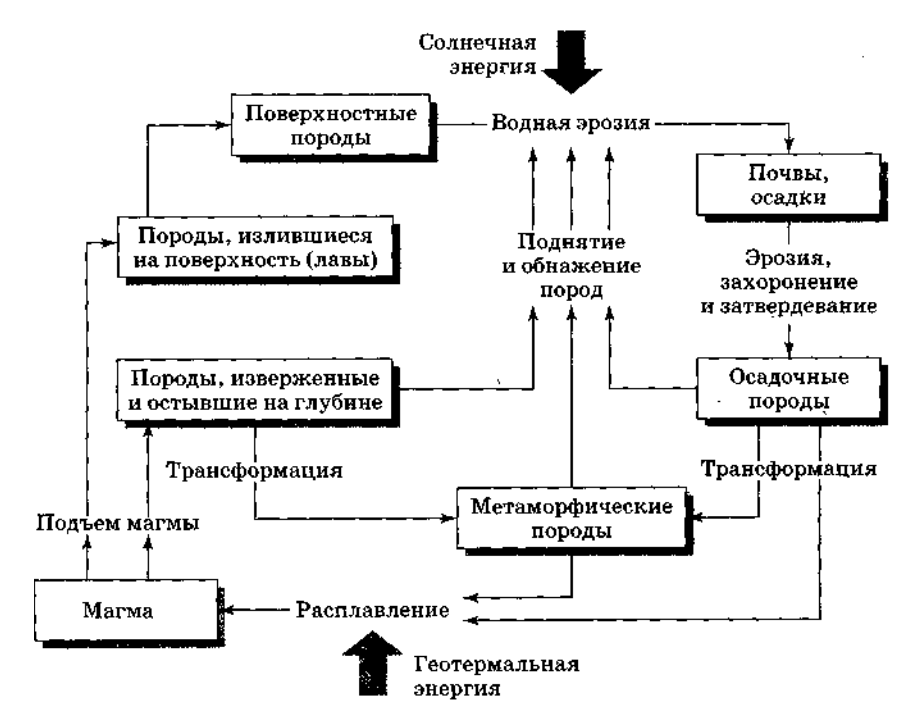


Рис. 7.21. Схема геологического цикла Земли (по *Дж. Андерсону)*

лы (рис. 7.21). Геофизические процессы (извержение магмы, вулканическая активность и поднятие крупных блоков земной коры) осуществляются за счет теплоты, выделяющейся в результате распада в недрах Земли изотопов калия, урана и тория. Процессы, протекающие на земной поверхности, — эрозия, выветривание и перенос осадков, — происходят за счет энергии Солнца, трансформированной в кинетическую энергию ветра и водных потоков, а также в тепловую энергию.

Наиболее быстро движение в геологическом цикле происходит при извержении вулканов и излиянии лав в районах рифтовых долин. Круговорот осадочного вещества осуществляется за десятки и сотни миллионов лет. В экологическом масштабе времени минералы, отложившиеся в глубоководных осадках, можно считать полностью выведенными из круговорота.

7.2.4.3. Учение о почве

На поверхности коры выветривания формируется почвенный покров — основа земельного фонда биосферы. Он представляет собой самостоятельную земную оболочку — **педосферу.**

Почва — особое органоминеральное естественно-историческое природное образование, сформировавшееся в результате длительного преобразования поверхностных слоев литосферы при совместном взаимообуславливающем воздействии гидросферы, атмосферы, живых и мертвых организмов в различных условиях климата и рельефа в гравитационном поле Земли.

Изучение почв началось в глубокой древности с началом развития земледелия. Впервые мысль о том, что почвы снабжают растения питательными веществами, высказал в XVII в. французский ученый Б. Палисси. Научные представления о механизме минерального питания растений и роли $C0_2$ и N_2 воздуха, а также воды в почве стали развиваться в следующем столетии, чему способствовало развитие естественных и физико-математических наук. М. В. Ломоносов определял почву как продукт воздействия растений на горные породы, а перегной рассматривал как результат биологических процессов.

На рубеже XVII—XIX вв. на смену теории водного питания растений пришла гумусовая теория А. Тэера, по которой для питания растений достаточно органических веществ почвы и воды. В целом ошибочная гумусовая теория внесла большой вклад в науку, ибо привлекла внимание к изучению гумуса почв, к травосеянию и органическим удобрениям. А. Тэер — один из основоположников многопольных севооборотов, орга-

низатор первого в истории высшего агрономического учебного заведения.

Немецкий агрохимик Ю. Либих сформулировал минеральную теорию питания растений, согласно которой растения усваивают из почвы минеральные вещества, а из перегноя — только углерод. Таким образом, запас минеральных веществ в почве ограничен, и каждый новый урожай истощает почву. Следовательно, для ликвидации дефицита элементов в почву необходимо вносить минеральные удобрения. Введение в практику сельского хозяйства минеральных удобрений К. А. Тимирязев назвал «величайшим приобретением науки». Недостаток теории Ю. Либиха в том, что почва считалась простым резервуаром элементов питания растений.

Основателем современного почвоведения является русский ученый В. В. Докучаев. Им впервые сформулировано понятие о почве как об особом естественно-историческом теле, разработаны методы изучения и картографирования почв, заложены основы их генетической[1] классификации. В. В. Докучаев предложил рассматривать почву как динамическую, а не инертную среду, открыл основные закономерности географического распространения почв.

7.2.4.4. Химический состав почвы

Твердая часть почвы состоит из минеральных и органических веществ.

Минеральный состав. Он определяется составом почвообразующих пород, возрастом почвы, особенностями рельефа, климата и т. д. В состав минеральной части почвы входят Si, Al, **Fe,** K, N, Mg, Ca, P, S, некоторые микроэлементы Си, Mo, J, B, F, РЬ и др. Подавляющее большинство химических элементов в почве находится в окисленной форме: $Si0_2$, $A1_20_3$, Fe_20_3, K_20, Na_20, MgO, CaO. В почвах распространены также соли угольной, серной, фосфорной, хлористоводородной и других кислот. На основных породах почва более богата Al, **Fe,** щелочноземельными и щелочными металлами, а на породах кислого состава — Si. В засоленных почвах преобладают хлориды и сульфаты кальция, магния, натрия.

[1] Генетическая (от греч. *genesis* — происхождение, возникновение), потому что учитывает условия возникновения и формирования почв и в свою очередь отражает эти условия.

Органический состав. Он формируется из соединений, содержащихся в большом количестве в растительных и животных остатках. Это белки, углеводы, органические кислоты, жиры, лигнин, дубильные вещества и др., в сумме составляющие 10—15% от всей массы органического вещества в почве. При разложении органических веществ содержащийся в них азот переходит в формы, доступные растениям. Органические вещества играют важную роль в почвообразовании, определяют величину поглотительной способности почв, воздействуют на структуру верхних горизонтов почвы и ее физические свойства.

Органическое вещество почвы образуется при разложении мертвых организмов, их частей (например, опавших листьев), фекалий и т. п. Мертвый органический материал используется в пищу совместно детритофагами и редуцентами (грибами и бактериями), завершающими процесс разложения. Не полностью разложившиеся остатки органики называют подстилкой, а конечный продукт разложения, в котором невозможно различить первоначальный материал, — гумусом.

Гумус — аморфное органическое вещество почвы, образующееся в результате разложения растительных и животных остатков и продуктов жизнедеятельности организмов, причем утратившее тканевую структуру[1].

По химическому составу — это сложная смесь разнообразных органических молекул. Гумус состоит из гуминовых кислот, фульвокислот, гумина и ульмина; имеет цвет от темно-бурого до черного.

По агрегатному состоянию гумус похож на глину; и то и другое находится в коллоидном состоянии. Отдельные его частицы прочно прилипают к глине, образуя глино-гумусовый комплекс. Гумуса в верхних горизонтах почвы содержится от десятых долей до 18% (в черноземных почвах), а мощность гумусовых горизонтов от нескольких сантиметров до 1,5 м.

Формирование урожаев связано с большим расходом биогенных элементов почв, распадом гумуса. Так, на урожай зерновых, равный 50 ц/га, расходуется не менее 10 ц гумуса или 0,03% массы пахотного слоя.

[1] Иногда в качестве синонима «гумусу» указывается термин «перегной», однако это не точно. Перегной в понимании «грубый гумус» допускает наличие остатков организмов, не утративших тканевую структуру, а перегной в широком смысле даже не исключает наличие в нем живых организмов — низших (микроорганизмов) и высших (личинок насекомых и др.).

Гумификация — процесс превращения органических остатков в ходе биохимических реакций при затрудненном доступе кислорода в темно-окрашенные высокомолекулярные вещества, в основном в гуминовые и близкие к ним кислоты. В процессе гумификации происходит не только разложение, но и синтез органических веществ.

Для формирования гумуса необходим дренаж почвы, так как при переувлажнении разложение идет очень медленно из-за нехватки кислорода, препятствующей росту аэробных редуцентов. В таких условиях растительные и животные остатки сохраняют свою структуру и, спрессовываясь, образуют торф.

Одновременно с гумификацией многие жизненно важные элементы переходят из органических соединений в неорганические, например, азот в ионы аммония (NH4), фосфор в ортофосфат-ионы (H_2PO^), сера в сульфат-ионы (SO|~), т. е. идет *процесс минерализации.* Углерод высвобождается в процессах дыхания и в виде $C0_2$ поступает в атмосферу.

7.2.4.5. Профиль почвы

В результате перемещения и превращения веществ почва любого типа расчленяется на отдельные слои или горизонты, сочетание которых составляет профиль почвы (рис. 7.22).

Во всех типах почв самый верхний горизонт A_v который имеет относительно темный цвет, называют **гумусовым** или **перегнойно-аккумулятивным.** В нем располагается большая часть корней растений. Избыток или недостаток гумуса определяет плодородие почвы. Мощность гумусового горизонта колеблется в широком интервале от 10—30 до 100—300 мм и более.

В верхнем слое почвы пашни в результате регулярной обработки формируется **пахотный гумусовый горизонт** с ровной, параллельной поверхности границей на глубине 200—250 мм. На лугах и сенокосах верхняя часть гумусового горизонта может плотно переплетаться с корнями живых травянистых растений, образующих дернину. Выше горизонта A_x иногда находится горизонт A_0, состоящий из разлагающихся растительных остатков: лесной подстилки, степного войлока и т. п.

В лесных почвах под горизонтом A_x залегает малоплодородный **подзолистый**[1] (элювиальный) горизонт A_2, имеющий

Под цвет золы.

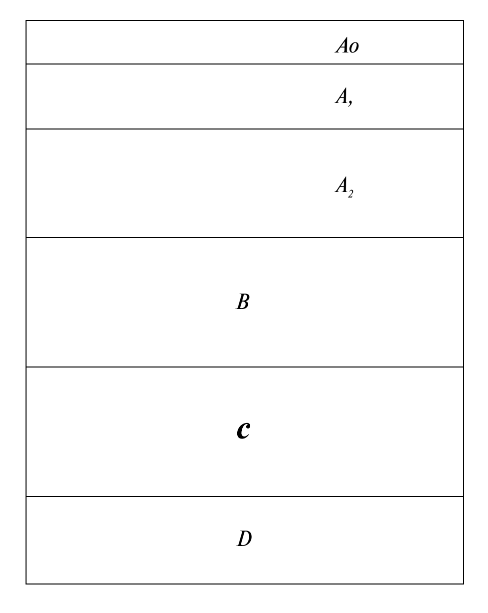


Рис. 7.22. Характерный профиль (схематический разрез) почвы

светлый оттенок, непрочную структуру и пылеватое строение. В черноземных, темно-каштановых, каштановых и других типах почв этот горизонт отсутствует. В нечерноземной зоне он зачастую начинается от поверхности. Присутствие горизонта A_2 свидетельствует о том, что верхние слои почвенного профиля бедны элементами питания, имеют кислую реакцию.

Подзолистый горизонт обладает низким плодородием, ибо кислые растворы, поступающие из верхнего горизонта, выносят из него все металлы (кальций, магний, марганец, железо, алюминий). Остается лишь кварц, имеющий белесую окраску. На пашне подзолистый горизонт может быть разрушен при обработке и вовлечен в пахотный горизонт $A_{пах}$.

Из горизонта A $(A_0 + A_y + A_2)$ часть химических соединений вымывается вниз в горизонт B — **горизонт вмывания (иллювиальный).** Там поступающее сверху вещество (ил, органическое вещество, железо, другие металлы) накапливается и преобразуется.

Ниже расположен почвенный горизонт C — **материнская порода,** измененная почвообразующим процессом, под которой залегает горизонт D — **исходная горная порода,** не затронутая почвообразованием. Материнская порода обычно залегает на глубине более 1 м (если почва не заболочена).

Все горизонты почвы представляют собой смесь минеральных и органических элементов в различных сочетаниях. При избыточной увлажненности почвы ее генетические горизонты модифицируются и превращаются в глеевый, оглеенный или торфяный.

Глеевый горизонт *G* служит индикатором постоянного или очень длительного переувлажнения и имеет характерную холодную окраску — синеватую, серо-сизую или голубоватую. Он практически не корнеобитаем, постоянно обводнен, в нем отсутствует кислород.

Если горизонт подвергается относительно непродолжительному переувлажнению и сохраняет признаки основного генетического горизонта (например, подзолистого, иллювиального и др.), то он как бы маркируется признаками периодического застоя избыточной влаги. Такой горизонт называется *оглеенным* и обозначается индексом *g* совместно с основным индексом горизонта, например *Bg*. В оглеенных горизонтах плохо развиваются корни растений, сельскохозяйственные культуры подвергаются угнетению и гибнут. Характерным примером может служить почва со следующим чередованием генетических горизонтов: A_v A_2 *B, Bg, G,* или гумусовый, подзолистый, иллювиальный, иллювиальный оглеенный, глеевый.

Активное переувлажнение приводит к накоплению в поверхностных горизонтах органических остатков. Если их по массе более 30%, существуют растительные волокна, также различимы остатки растений-торфообразователей, то формируется *торфяный* горизонт *T*. Нередко мощность слоя торфа достигает 2—4 м, но чаще 1—2 м. Часть торфа, имеющая контакт с воздухом, окрашена в черный цвет, как и осушенная толща торфяных почв. Ниже постоянного уровня грунтовых вод торф имеет желтоватый, бурый или соломистый цвет.

Помимо перечисленных, наиболее распространенных генетических горизонтов, выделяют и иные специфические горизонты, которым характерно, например, повышенное содержание карбонатов (карбонатный горизонт), железа (рудяковый горизонт), извести (известковый горизонт) и др.

7.2.4.6. Почвообразование

В своей классической работе о почвах России в 1870 г. В. В. Докучаев определил главные почвообразующие факторы, а именно: климат, геологические условия (материнскую породу, топографию (рельеф), живые организмы и время (рис. 7.23).

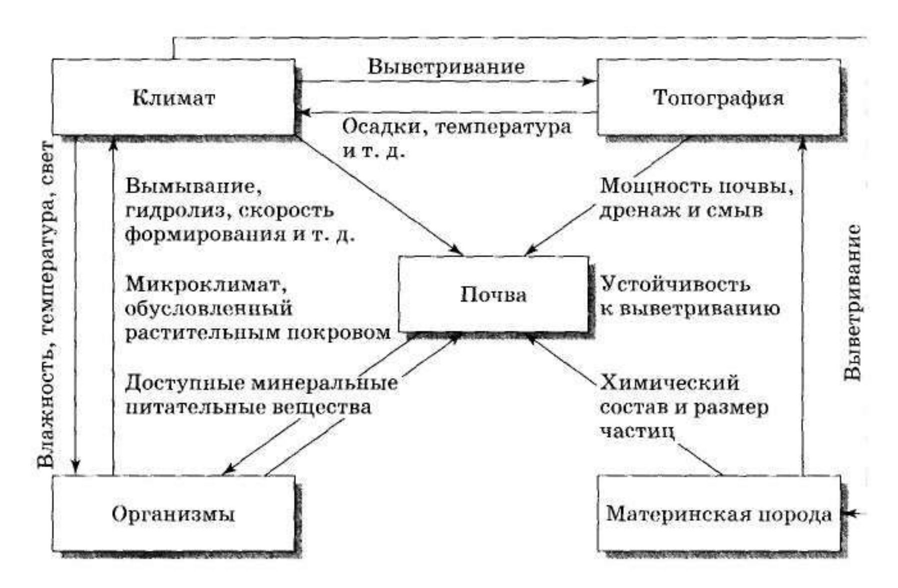


Рис. 7.23. Схема взаимодействия четырех почвообразующих факторов (по *Н. Грину, У. Стауту, Д. Тейлору).* Влияние времени в схеме не отражено

Физическое и химическое разрушение материнской породы под влиянием климата и в меньшей степени живых организмов называется *выветриванием.* Основными факторами, вызывающими выветривание, являются вода и температурные колебания, поэтому осадки (дождь и снег) и температурный режим — два главных климатических фактора почвообразования.

Влияние топографии связано с тем, что на различной высоте, при различной крутизне и экспозиции склона условия различны.

Живые организмы образуют органические компоненты почвы (подстилку и гумус). Деятельность почвенных детритофагов зависит от растительности. При прохождении через пищеварительный тракт дождевого червя минеральные и органические компоненты измельчаются и перемешиваются, что улучшает структуру почвы. Ходы детритофагов и мелких позвоночных животных улучшают аэрацию и облегчают рост корней.

Важное значение для образования почвы имеет время. Скорость этого процесса в умеренном климате различна — может потребоваться от нескольких десятилетий (при формиро-

вании почвы на вулканическом пепле) до нескольких тысяч лет (на обнаженной поверхности скальных пород).

Почва постоянно развивается и изменяется, вследствие чего существует большое разнообразие ее типов. Тип почвы в конкретной местности имеет большое значение для человека, так как от него зависит урожайность сельскохозяйственных культур. Главнейшими типами почв России являются тундровые, подзолистые почвы таежно-лесной зоны (наиболее распространенные), черноземы, серые лесные почвы, каштановые почвы (к югу и востоку от черноземных), бурые (в сухих степях и полупустынях), красноземы, солончаки.

7.2.4.7. Почва как компонент биосферы

Плодородие — способность обеспечивать рост и развитие растений. Это важнейшее свойство почвы играет первостепенную роль в жизни человека, но ее уникальная ценность не ограничивается сферой сельскохозяйственного производства.

Почва является главным звеном всех наземных биоценозов и биосферы Земли в целом, а также одним из основных природных ресурсов.

Плодородие обусловлено суммой всех свойств почвы, среди которых особо выделяют поглотительную способность — свойство удерживать питательные вещества в зоне корневых систем. Учение о поглотительной способности почв разработал советский ученый К. К. Гедройц (1933), выделивший несколько типов поглотительной способности почв: механическую, молекулярно-сорбционную, ионно-сорбционную и биологическую.

Совокупность физических и химических свойств почвы, способность экологически воздействовать на живые организмы имеет существенное значение для постоянных или временных обитателей почвенного покрова и прежде всего для животных. Почва представляет собой опорный субстрат для большинства наземных и водных видов растительных организмов, и из нее они получают необходимые для жизни минеральные вещества и воду.

Основные почвообразующие факторы (климат и растительность) распределяются на поверхности нашей планеты в виде поясов или зон, вытянутых более или менее параллельно широтам. В связи с этим почвы располагаются по земной поверхности зонально.

Во все геологические периоды почвенный покров подвергался воздействию естественных сил природы: размыванию, разрушению и созиданию, а в связи с расширением масштабов

и интенсификацией хозяйственной деятельности человека это воздействие усиливается.

Сохранение почвенного покрова Земли — необходимое условие обеспечения и поддержания экологического равновесия в биосфере.

7.2.5. Магнитосфера

Земля представляет собой как бы огромный магнит, воображаемая ось которого лежит близко к оси вращения планеты. **Магнитосфера** — это зона проявления магнитных свойств космического тела. Геомагнитное поле относится к естественным электромагнитным полям и, как и гравитационное поле, является всепроникающим и всеохватывающим физическим фактором, миллиарды лет влиявигем на эволюцию организмов биосферы и на процессы, происходящие на Земле и в окружающем ее пространстве в наши дни.

Магнитное поле Земли простирается на 70—80 тыс. км по направлению к Солнцу и на многие миллионы километров в противоположном направлении (рис. 7.24).

Магнитосфера оказывает сильное воздействие на движущиеся в космическом пространстве в сторону Земли заряженные электрические частицы (солнечный ветер). Часть этих частиц (электронов и протонов) удерживается магнитосферой, образуя огромное кольцо или *радиационный пояс Земли,* охватывающий нашу планету вокруг геомагнитного экватора. Магнитосфера отделена от межпланетного пространства *магнитопаузой,* вдоль которой солнечный ветер обтекает планету.

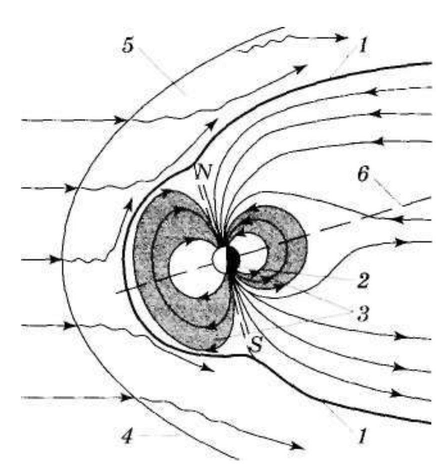


Рис. 7.24. Строение магнитосферы Земли: *1* — магнитопауза; *2* — Земля; 3 — радиационный пояс; *4* — фронт ударной волны; 5 — переходная область; *6* — плоскость геомагнитного экватора

Заряженные частицы в магнитном поле движутся по-разному, в зависимости от соотношения плотностей магнитной и кинетической энергий. На расстоянии около 10 земных радиусов поток заряженных частиц встречает силь-

ное магнитное поле, и под действием силы Лоренца изменяется направление их движения. В целом движение становится колебательным по спиральной траектории вдоль силовых линий магнитного поля из Северного в Южное полушарие и обратно. В зависимости от энергии и величины заряда частицы совершают полный оборот вокруг Земли за время от нескольких минут до суток.

Исследование космоса показывает, что магнетизм Земли — явление уникальное. На Луне и в ее окрестностях не обнаружено усиления магнитного поля по сравнению с окружающим ее пространством. На Марсе и Венере магнитное поле соответственно в тысячи и десятки тысяч раз слабее земного. Юпитер и Сатурн обладают протяженными магнитосферами.

В соответствии с современной теорией существование и форма магнитосферы Земли определяются ее внутренним строением, значительно отличающимся от строения иных планет. В процессе эволюции нашей планеты происходило постепенное изменение (уменьшение) скорости вращения, при этом различные ее слои, имея разную плотность, тормозились по-разному. Проскальзывание менее плотного слоя мантии по более плотному ядру привело к образованию своеобразного природного генератора, создающего с тех пор магнитное поле Земли. Поскольку скорость вращения планеты вначале была большей, то геомагнитное поле тогда было более мощным, чем в наши дни. Так, в пермский период год на Земле имел 380, а в девонский — 430 сут.

Жизнь тесно связана с электромагнитными явлениями и без них невозможна. Считается, что без магнитного поля жизнь на Земле вообще не развивалась бы, без солнечной энергии, воды или некоторых химических элементов. Возникающие время от времени геомагнитные возмущения влияют на физико-химические процессы и через них — на направленность биохимических реакций. Во многих случаях магнитное поле определяет и поведение живых существ. Установлено, что дикие животные избегают линий электропередач высокого напряжения, а олени и серны отказываются есть корм из кормушек, расположенных под ними даже в самые суровые периоды бескормицы. Для человека неблагоприятно резкое изменение характера воздействия магнитного поля, в частности, связанное с быстрым перемещением из одной точки планеты в другую, и особенно если это перемещение происходит с запада на восток.

Изменения в геомагнитном поле обусловлены в основном солнечной активностью. Когда на Солнце происходит вспышка, то в сторону Земли вырывается поток солнечной плазмы. Проникая в магнитосферу, солнечный ветер резко повышает температуру частиц в верхних слоях атмосферы и способствует дополнительной ионизации, меняющей условия распространения радиоволн, возбуждающей свечения (наблюдаемые в виде полярных сияний) и магнитные бури. В годы активного Солнца плотность потока энергии солнечного ветра усиливается, граница радиационного пояса отодвигается и препятствие для космических лучей увеличивается.

Радиационный пояс Земли представляет серьезную опасность для экипажей космических кораблей при длительных полетах в околоземном пространстве, а также выводит из строя оптические приборы и солнечные батареи.

Наряду с закономерным изменением характеристик магнитного поля по земной поверхности имеют место глобальные, региональные и локальные особенности или аномалии, некоторые из которых используют в качестве поисковых признаков полезных ископаемых, прежде всего железной руды.

Развитие науки и техники ведет к появлению разнообразных мощных искусственных электромагнитных полей и значительному локальному нарушению естественного магнитного поля планеты. Наличие глобального влияния антропогенной деятельности на магнитосферу пока не установлено.

7.3. Живое вещество биосферы

Живое вещество — краеугольный камень учения о биосфере В. И. Вернадского, который акцентировал внимание на биогеохимической специфике этого образования следующим образом:

> на земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом».

В настоящее время описано около 300 тыс. видов растений и более 1,5 млн видов животных. Из них 93% представлено сухопутными, а 7% — водными видами животных. Суммарная биомасса организмов сухопутных видов образована на 99,2% зелеными растениями ($2{,}4 \cdot 10^{12}$ т) и на 0,8% животными

и микроорганизмами ($0,2 \cdot 10^{11}$ т). В океане, напротив, растения составляют 6,3% ($0,2 \cdot 10^{9}$ т), а животные и микроорганизмы — 93,7% ($0,3 \cdot 10^{10}$ т) совокупной биомассы. Несмотря на то что океан покрывает более 70% поверхности планеты, в нем содержится лишь 0,13% биомассы всех живых существ, обитающих на Земле.

Расчеты специалистов показали, что растения составляют около 21% всех учтенных видов. Однако на их долю приходится более 99% биомассы, тогда как на долю животных — менее 1% биомассы. Среди животных 96% видов составляют беспозвоночные и только 4% — позвоночные, среди которых млекопитающие составляют примерно 10%. Эти соотношения иллюстрируют фундаментальную закономерность, а именно — в биосфере количественно преобладают формы, имеющие низкое качество развития (достигшие в процессе эволюции относительно низких степеней морфофизиологического прогресса).

7.3.1. Свойства и функции живого в биосфере

Живое вещество характеризуется определенными свойствами:

- *стремление заполнить собой все окружающее пространство* — «давление жизни» по Н. Ф. Реймерсу. Способность быстрого освоения пространства связана как с интенсивным размножением (некоторые простейшие формы организмов могли бы освоить весь земной шар за несколько часов или дней при отсутствии факторов, ограничивающих их потенциальные возможности размножения), так и со способностью организмов интенсивно увеличивать поверхность своего тела или образуемых ими сообществ. Так, площадь листьев растений на 1 га составляет 8—10 га и более;
- *возможность произвольного перемещения в пространстве,* например, против течения воды, силы тяжести, ветра и т. п.;
- *наличие специфических химических соединений* (белков, ферментов и др.), устойчивых при жизни и быстро разлагающихся после смерти;
- *исключительное разнообразие* форм, размеров, составов, а также высокая способность адаптироваться к условиям существования, значительно превышающие

контрасты в неживом (косном) веществе. Так, некоторые организмы существуют при температурах, близких к абсолютному нулю (-273 °С), а другие — до +250 °С, иные микроорганизмы встречаются в охлаждающих водах атомного реактора, в ледовых панцирях планеты, в бескислородной среде и т. д.;

- *феноменально высокая скорость протекания реакций* на несколько порядков (в сотни, тысячи и даже миллионы раз) быстрее, чем в неживой природе планеты. Косвенно это свойство можно оценить по скорости переработки веществ организмами в процессе жизнедеятельности, например, у наиболее активных организмов — грунтоедов. Так, весь однометровый слой почвы планеты проходит через организмы дождевых червей (масса которых в 10 раз больше массы всего человечества) всего за 150—200 лет. Организмы с фильтрационным типом питания проводят колоссальную работу, очищая весь океан от взвеси каждые четыре года, а веслоногий рачок — эпишура за год процеживает воду озера Байкал трижды;
- *высокая скорость обновления живого вещества* — для биосферы в среднем она составляет 8 лет, причем для суши — 14 лет, а для океана, где преобладают организмы с коротким сроком жизни (например, планктон), — 33 дня. Таким образом, за всю историю существования жизни общая масса живого вещества, прошедшего через биосферу, примерно в 12 раз превышает массу Земли.

Деятельность живого вещества в биосфере в определенной степени условно можно свести к нескольким основополагающим функциям, дополняющим представление о его преобразующей биосферно-геологической деятельности. В. И. Вернадский выделял девять функций: газовую, кислородную, окислительную, кальциевую, восстановительную, концентрационную и др. Позже классификация была несколько видоизменена (часть функций объединена, часть переименована). Наиболее современной является классификация А. В. Лапо, по которой выделяют следующие функции: энергетическую; газовую; окислительно-восстановительную; концентрационную; деструктивную; транспортную; средообразующую; рассеивающую.

Свойства живого вещества определяются большой концентрацией (большими запасами) энергии в нем.

7.3.2. Физико-химическое единство живого

При всем разнообразии живое вещество физико-химически едино, имеет одни и те же эволюционные корни. В природе нет такого вида, который бы реагировал на некое химическое или физическое воздействие качественно иначе, чем организмы других видов[1].

Существует лишь количественная разница, например, в чувствительности организмов к γ-излучению (табл. 7.13).

Таблица 7.13

Величина поглощенной дозы γ-излучения, при которой через 30 дней погибает 50% организмов

Организм	**Поглощенная доза облучения, Гр***	**Организм**	**Поглощенная доза облучения, Гр**
Овцы	200	Мыши	600—1500
Козы	350	Птицы, рыбы	800—2000
Собаки	250—400	Насекомые	10 000
Морские свинки	400	Змеи	20 000
Люди	400	Улитки	20 000
Обезьяны	250—600	Амебы	100 000
Крысы	700—900	Растения	1000—150 000

* Приведенные значения являются в определенной мере завышенными. Например, доза в 2 Гр убивает эмбрионы многих насекомых, доза в 50 Гр приводит к полному бесплодию этих животных, и только с 1000 Гр поглощенная доза становится смертельной для взрослых особей.

Поглощенная доза ионизирующего излучения — это отношение средней энергии, переданной излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме. Единица измерения в системе СИ — грей (Гр); 1 Гр = Дж/кг.

[1] Стратегия химической борьбы с «вредителями» изначально основывалась на неверных исходных рассуждениях. Нет и не может быть пестицида, гибельного для вредителей полей и безвредного для человека. Поэтому с самого начала следовало искать быстро разлагающиеся ядохимикаты, которые бы не попадали в пищу человека и вообще минимально контактировали с людьми.

Закон физико-химического единства живого вещества имеет важное практическое значение для человека. Из него следует:

- *нет такого физического или химического агента (абиотического фактора), который был бы гибелен для одних организмов и абсолютно безвреден для других.* Разница лишь количественная — одни организмы более чувствительны, другие менее, одни в ходе отбора быстрее приспосабливаются, а другие медленнее (приспособление идет в ходе естественного отбора, т. е. за счет тех, что не смогли адаптироваться к новым условиям);
- *количество живого вещества биосферы в пределах рассматриваемого геологического периода есть константа* — таков закон константности количества живого вещества В. И. Вернадского. И действительно, согласно закону биогенной миграции атомов, живое вещество является посредником между Солнцем и Землей. Если бы количество живого вещества колебалось, то энергетическое состояние планеты было бы непостоянно. Такое за время эволюции жизни на Земле случалось, но очень редко;
- *общее видовое разнообразие в биосфере есть константа* — число нарождающихся видов в среднем равно числу вымирающих. Процесс вымирания видов был неизбежен из-за изменения условий жизни на планете. Причем вид никогда не исчезает в одиночку, он «тянет за собой» еще порядка 10 других видов, уходящих вместе с ним. На их место, согласно правилам экологического дублирования, приходят другие виды, особенно в управляющем звене экосистем — среди консументов. Поэтому во все геологические периоды массового вымирания организмов наблюдалось и бурное видообразование.

7.3.3. Биогеохимические циклы

Живое вещество по массе составляет 0,01—0,02% от косного вещества биосферы, однако играет ведущую роль в биогеохимических процессах.

Ежегодная продукция живого вещества в биосфере составляет 232,5 млрд т сухого органического вещества. За то же время на планете фотосинтезируется $115*10^9$т сухого органического вещества и $123 \cdot 10^9$ т кислорода. Для этого требу-

ется, чтобы $170 \cdot 10^9$ т диоксида углерода прореагировало с $68 \cdot 10^9$ т воды. В процесс вовлекаются $6 \cdot 10^9$ т азота, $2 \cdot 10^9$ т фосфора, а также такие элементы, как калий, кальций, сера, железо.

Живое вещество является наиболее активным компонентом биосферы. Оно осуществляет гигантскую геохимическую работу, преобразовывая другие оболочки Земли в геологическом масштабе времени.

Все химические элементы живой материи циркулируют в биосфере по характерным путям, переходя из внешней среды в организмы, а затем возвращаясь во внешнюю среду. Эти в большей или меньшей степени замкнутые пути называют *биогеохимическими циклами* (или круговоротами), причем «био» относится к живым организмам, а «гео» — к горным породам, воздуху и воде. Термин *«биогеохимия»* предложен академиком В. И. Вернадским.

В каждом цикле различают две части или два фонда:

- резервный фонд — большая масса медленно движущихся веществ, в основном небиологический компонент;
- подвижный, или обменный, фонд — меньший, но более активный, для которого характерен быстрый обмен между организмами и их непосредственным окружением.

Для биосферы в целом все биогеохимические круговороты делят на круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере (океан) и осадочный цикл с резервным фондом в земле.

На рис. 7.25 показана схема биогеохимического цикла в сочетании с упрощенной схемой однонаправленного потока энергии, приводящего круговорот вещества в движение. В природе, в отличие от данной схемы, элементы никогда не бывают распределены по экосистеме равномерно и не находятся всюду в одной и той же химической форме. Резервный фонд (часть круговорота, физически или химически отделенная от организмов) обозначен как фонд элементов питания, а обменный фонд изображен в виде заштрихованного кольца, идущего от автотрофов к гетеротрофам и затем возвращающегося к автотрофам.

Наличие больших резервных фондов (в виде атмосферы или океана) в круговоротах углерода, кислорода и азота способствует быстрой саморегуляции соответствующих биогеохимических циклов при различных местных нарушениях. Так, избыток $C0_2$, образовавшийся из-за интенсивного горения, достаточно быстро рассеивается в атмосфере и, кроме того, усиленное образование диоксида углерода компенсируется увели-

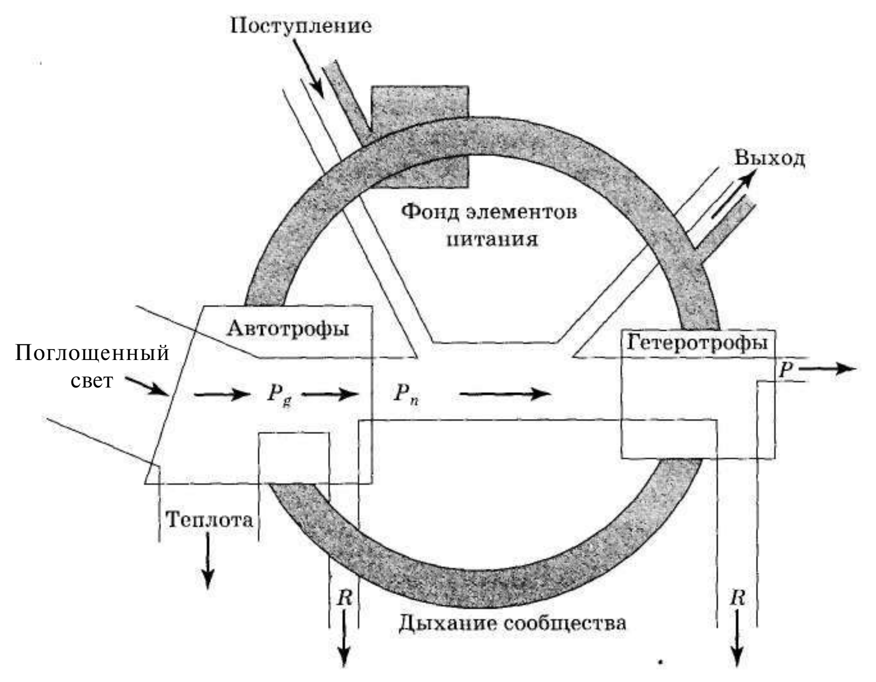


Рис. 7.25. Схема биогеохимического круговорота (заштрихованное кольцо), совмещенная со схемой однонаправленного потока энергии (по *Ю. Одуму): P* — валовая продукция; P_n — чистая первичная продукция, которая может быть потреблена гетеротрофами в данной экосистеме либо экспортирована, например, для нужд человека; *R* — дыхание; *P* — вторичная продукция

чением его потребления растениями или превращением в карбонаты в море. Поэтому считается, что круговороты веществ, включающие в себя большие атмосферные фонды, в глобальном масштабе хорошо зарезервированы или, по выражению Ю. Одума, «хорошо забуферены», так как их способность приспосабливаться к изменениям велика. В результате саморегуляции по принципу обратной связи подобные биогеохимические циклы достаточно совершенны. Тем не менее саморегуляция даже при таком громадном резервном фонде, каким является атмосфера, имеет свои пределы.

Осадочным циклам характерно, что основная масса вещества сосредоточена в относительно малоподвижном и малоактивном резервном фонде — в земной коре. Поэтому круговорот таких элементов, как фосфор или железо, значительно менее самоконтролируем и достаточно легко нарушается даже при небольших местных помехах.

Антропогенное вмешательство в биосферные процессы порой так ускоряет движение многих веществ, что их круговороты становятся значительно менее совершенными или процесс теряет цикличность. Складываются различные противоестественные ситуации, например, в одних местах возникает недостаток каких-либо веществ, а в других — их избыток. В частности, добыча и переработка фосфатных пород ведется столь несовершенно, что вблизи шахт, карьеров и заводов создается сильное локальное загрязнение. Кроме того, в сельском хозяйстве используется все больше и больше фосфорных удобрений, а неизбежное попадание фосфатов в водоемы, за которым следует их эвтрофикация (см. разд. 6.4.2.5), никак не контролируется.

При оценке влияния деятельности человека на биогеохимические циклы важное значение имеют сравнительные объемы резервных фондов. Изменениям подвергаются в первую очередь самые малообъемные фонды.

Усилия по охране природных ресурсов в конечном счете должны быть направлены на то, чтобы превратить нециклические процессы в циклические. В связи с этим основной целью должно быть возвращение веществ в круговорот, обеспечивающее их повторное использование.

7.4. Эволюция[1] — история жизни

Существует множество разнообразных теорий происхождения Вселенной, Земли и жизни на ней. Их достоверность постоянно подвергается сомнению, они все время проверяются, совершенствуются, уточняются в соответствии с «сегодняшними» взглядами и последними достижениями науки.

Среди воззрений возникновения Вселенной во второй половине XX в. были наиболее распространены гипотезы:

- стационарного состояния — Вселенная существовала извечно;
- большого взрыва (с последующим расширением, продолжающимся и ныне);

[1] Термин «эволюция» (от лат. *evolutio* — развертывание) широко применяется в науке. Говорят об эволюции атомов, галактик, Земли, машин, общества, методов познания и многого другого, подразумевая последовательность изменения исходного состояния во времени, приводящее к возникновению чего-то нового.

- родилась в одной из черных дыр;
- создана Творцом.

До сих пор наука не опровергла идею божественного сотворения Вселенной, а теология (от греч. *theos* — бог и *logos* — учение) не отрицает возможность того, что современные черты жизни приобретены ей в процессе развития на основании законов природы. На почтовой марке, выпущенной в США в честь астронавтов, первыми ступившими на Луну, сделана надпись: «В основе всего Бог». Вера в Божественное начало мира не мешает американским ученым быть в группе лидеров мировой науки. На практике наука и религия не всегда взаимоисключают друг друга, о чем свидетельствует значительное число ученых, придерживающихся религиозных убеждений.

Тем не менее и в начале третьего тысячелетия основы этих теорий остаются умозрительными, так как не удается в сколь-нибудь наглядном виде воспроизвести события, происходившие при возникновении жизни. Это относится как к научным, так и к теологическим (религиозным) построениям. Однако одна из теорий — это теория эволюции, она все больше и больше характеризуется как совокупность ряда научных гипотез, каждая из которых поддается проверке.

7.4.1. Земля во Вселенной

7.4.1.1. Вселенная

Вселенной принято называть весь существующий материальный мир, безграничный во времени и пространстве и бесконечно разнообразный по формам, которые принимает материя в процессе своего развития. Часть Вселенной, доступная исследованиям астрономическими методами, соответствующими современным достижениям науки, называют *Метагалактикой.* Она состоит из нескольких десятков миллиардов галактик — гигантских звездных систем, содержащих сотни миллиардов звезд.

Галактика, к которой принадлежит Солнце, называется *Млечный Путь.* Она содержит:

- не менее 100 млрд звезд с общей массой около 10^{11} масс Солнца;
- межзвездное вещество — газ и пыль, масса которых составляет около 5% массы всех звезд;
- космические лучи, магнитные поля, излучения (фотоны).

Центр (ядро) нашей Галактики находится от Земли в направлении созвездия Стрельца.

Пространство между галактиками представляет собой газ, который состоит из атомов, молекул, частиц пыли (-1% массы межзвездного вещества) и пронизывается быстрыми потоками элементарных частиц — космическими лучами и электромагнитным излучением преимущественно рентгеновского диапазона частот. Концентрация этого газа мала — в среднем около 100 атомов водорода на литр, но общая масса его во Вселенной огромна и сопоставима с суммарной массой всех галактик.

Крупномасштабная структура Вселенной в соответствии с современными представлениями такова. Области повышенной концентрации галактик и галактических систем чередуются в пространстве с обширными областями относительной пустоты, имеющими размеры в сотни миллионов световых лет. Звездное небо долгое время было для человека символом незыблемости и вечности. В Новое время люди узнали, что «неподвижные» звезды движутся, причем с огромными скоростями. В XX в. человечество осознало еще более странный факт — расстояния между звездными системами (галактиками), не связанными друг с другом силами тяготения, постоянно увеличиваются. При этом вся Вселенная постоянно расширяется.

Идея о расширении Вселенной из сверхплотного состояния была выдвинута в 1927 г. бельгийским астрономом Ж. Леметром (1894—1966), а предположение о том, что первоначально вещество было очень горячим, высказано в 1946 г. русским ученым Г. А. Гамовым (1904—1968), с 1934 г. жившим и работавшим в США.

Картина расширяющегося мира была предсказана теоретически еще до того, как была обнаружена наблюдениями. В 1922 г. российский ученый А. А. Фридман (1888—1925) показал, что болыпинство решений уравнений А. Эйнштейна для мира в целом — нестационарны, зависят от времени, что наиболее естественное следствие уравнений тяготения есть расширение либо сжатие Вселенной. Позже был установлен факт постоянного расширения.

В 1929 г. американский астроном Э. Хаббл (1889—1953) наблюдениями доказал, что скорости движения удаленных галактик направлены от нас. Более того, чем дальше расположена галактика, тем быстрее она убегает.

Закон Э. Хаббла гласит:

Скорости галактик пропорциональны расстояниям до них.

Самые далекие из обнаруженных галактик удаляются со скоростью, близкой к скорости света.

К концу XX в. сформировалась и развилась научная теория возникновения Вселенной, объединившая научные достижения, полученные при разработке ряда гипотез, в том числе большого взрыва, стационарного состояния и рождения в черной дыре. Она разработана **космологами**[1] на основе последних достижений физики и признана современным научным миром, включая Российскую академию наук (РАН). В этой сфере знаний никакие измышления не приемлемы, все космологические теории проверяются точнейшими астрономическими наблюдениями, а не подтвердившиеся экспериментом — отвергаются.

В соответствии с выводами, сделанными на основании исследований математических моделей, описывающих основные свойства Вселенной и подтвержденных наблюдениями, картина ее образования и эволюции на ранней стадии представляется следующей[2].

Вначале весь мир был «сжат в точку» размером $10{\sim}^{32}$ мм (на 20 порядков меньше размера атомного ядра) и с плотностью 10^{93} г/см^{3}; при этом полная масса материи составляла всего $10{\sim}^{5}$—Ю$^{-6}$ г. В середине 60-х годов XX в. Э. Глиннер предположил, что это было так называемое *вакуумное состояние* материи, для которого характерно огромное отрицательное давление. По абсолютной величине оно равно плотности энергии, т. е. произведению плотности материи на квадрат скорости света, но со знаком «минус». Модель отрицательного давления — это натяжение, существующее, например, в растянутой резине.

Материя вместо притяжения, традиционного для нормальных условий, находясь в вакуумном состоянии, создает гравитационное отталкивание подобно тому, как между одноименными электрическими зарядами возникает электростатиче-

[1] Космология — наука, занимающаяся проблемой происхождения Вселенной.

[2] Картина ранней Вселенной излагается в соответствии с опубликованным текстом доклада, сделанного одним.из ведущих отечественных космологов чл.-корр. РАН И. Д. Новиковым на заседании Президиума РАН в 2001 г.

ское отталкивание. Это гравитационное отталкивание, по современным общепризнанным представлениям, и послужило причиной чрезвычайно мощного «первотолчка», ранее приписывавшегося «большому взрыву».

Через Ю$^{-43}$ с после рождения Вселенной (рис. 7.26) вследствие «первотолчка» материя получила начальные скорости и Вселенная начала расширяться с постоянным ускорением, так как сила гравитационного отталкивания продолжала действовать. Экспоненциально быстрое расширение современными космологами названо *инфляцией,* а соответствующий интервал времени — *инфляционной стадией* развития Вселенной.

Объем Вселенной увеличивался, а плотность фактически не менялась, она уменьшалась чрезвычайно медленно. В результате масса материи во Вселенной возрастала, причем с новой массой рождалось новое тяготение этой массы. Рождающаяся отрицательная энергия гравитации компенсировала положительную энергию материи, и в сумме закон сохранения энергии соблюдался.

Вакуумная материя (инфлантон) неустойчива, через ничтожно малый промежуток времени (10~^{36}с) она распалась квантовым образом и превратилась в горячую плазму — обычную материю. Таков был квантовый процесс рождения нашей



Рис. 7.26. Основные этапы истории горячей Вселенной с учетом периода инфляции (по *И. Д. Новикову)*

горячей Вселенной. Через минуту с начала расширения температура горячей материи упала до 1 млрд K, начался синтез легких химических элементов.

Первичный нуклеосинтез продолжался около 3 мин. За это время элементарные частицы уже достаточно долго удерживались друг около друга, что привело к синтезу ядра водорода, дейтерия, гелия, лития и бериллия. После взаимных превращений остались ядра водорода (около 80% масс), гелия (до 20% масс) и остальные элементы в ничтожно малом количестве — около 0,01% всего вещества. Тяжелые химические элементы во Вселенной появились существенно позже в звездах.

На ранней стадии расширения Вселенной ее характер полностью определялся излучением, так как плотность энергии излучения тогда была больше плотности энергии обычных частиц вещества. Начальный этап принято называть *радиационной стадией* эволюции Вселенной. Температура вещества и излучения на этой стадии были одинаковы. Однако в определенный момент (примерно через 300 тыс. лет после начала образования Вселенной и при температуре 3—4 тыс. K) все радикально изменилось. Радиационная стадия сменилась *стадией вещества.* Этот переход принято называть *рекомбинацией.*

После эпохи нуклеосинтеза образование Вселенной замедлилось, и до момента рекомбинации происходило спокойное расширение, при котором вещество Вселенной остыло до нескольких тысяч градусов Цельсия. По законам атомной физики при снижении температуры до таких значений начинается объединение (рекомбинация) электронов, бывших ранее свободными частицами, с протонами и ядрами гелия. На стадии развития Вселенной из элементарных частиц и ядер началось образование атомов стабильных газов, преимущественно водорода и гелия.

С момента рекомбинации вещество начало эволюционировать самостоятельно, независимо от излучения. Сразу после рекомбинации оно было рассеяно во Вселенной практически равномерно. Не было ни звезд, ни галактик, ни иных космических объектов. Причиной дальнейших процессов объединения вещества явилась сила гравитации. Даже самые, казалось бы, незначительные различия в плотности вызывали различное притяжение. Вследствие этого более плотные образования постепенно становились еще более плотными, а области относительно пониженной плотности — все более разреженными. Та-

ким образом, изначально почти однородная среда с течением времени разделилась на отдельные «облака», из которых через сотни миллионов лет после начала расширения сформировались первые звезды и галактики[1].

Квантовый процесс рождения нашей Вселенной привел к разогреву вещества до очень больших температур. При расширении эта температура падала, а с ней изменялось и излучение, равномерно заполнившее всю Вселенную. Первичный свет (слабое электромагнитное излучение), называемое «реликтовым излучением», существует и сегодня. Не видимое глазу, оно приходит со всех сторон и регистрируется современными телескопами. Это явление было открыто[2] в 1965 г., тогда же установлено, что температура космического пространства в наше время равна 3 К.

В рамках существующих математических моделей допустимо говорить о «возрасте» или «времени жизни» нашей Вселенной как о времени, прошедшем с момента существования бесконечно большой плотности.

Естественный вопрос о том, что же было в эпоху «самого начала», т. е. до инфляции Вселенной, пока не имеет ни теоретически, ни экспериментально подтвержденного ответа, однако существуют предварительные заключения. В самый начальный период эволюции промежуток времени менее 10^{-43} с и размеры Вселенной менее 10^{-32} мм соответственно не могли быть непрерывным временем и непрерывным пространством. Пространство и время распадались на отдельные кванты, и все это, по выражению И. Д. Новикова, находилось в состоянии «кипения вакуума» при чрезвычайно большой его плотности — 10^{93} г/см^3. В этом состоянии пространство (его размерность и топология) менялись самым причудливым образом — квантовым.

Вследствие квантовых **флуктуации** (от лат. *fluctuatio* — колебание, случайное отклонение величины от ее среднего значения) в различные моменты времени «кипящий вакуум» случайным образом превращается в отдельные пузыри раздувающихся вселенных, каждая из которых подобна нашей Вселенной, однако, возможно, с иными физическими свойствами и иным развитием. Затем возможен коллапс отдельных пузы-

[1] Достоверно установлено, что самые старые звезды различных галактик имеют практически одинаковый возраст — около 15 млрд лет.

[2] В 1978 г. за это открытие была присуждена Нобелевская премия.

рей, и они снова переходят в квантовое кипение. И даже без коллапса за громадные промежутки времени отдельные вселенные рано или поздно перейдут в квантовое состояние.

Эта картина не имеет ни границ, ни пределов. Имеет место вечное кипение, вечное рождение новых вселенных и вечное их умирание. Следовательно,

> наша Вселенная вечна, она — один из «пузырьков» в Сверхвселенной, конца эволюции Вселенной нет.

Такую картину мироздания дает нам современная космология, радикально меняющая существовавшую философскую концепцию. Из нее, в частности, следует, что наша Вселенная не одна, вселенных много. При этом у человечества появляется возможность исследовать их не только умозрительно, но и экспериментально. С этой целью в начале XXI в. планируется серия уникальных научных экспериментов, в том числе:

- эксперимент «Космологический ген», с использованием отечественного радиотелескопа РАТАН-600 с зеркалом диаметром 600 м, остающегося самым крупным в мире рефлекторным телескопом;
- эксперимент «Планк», предполагающий использование отечественного спутника, запуск которого планируется на 2007 г. После него должна быть точно установлена топология нашей Вселенной;
- эксперимент в северокавказской обсерватории, призванный экспериментально подтвердить рекомбинацию Вселенной;
- эксперименты НАСА, основанные на применении высотных баллонов, летающих в Антарктике и Арктике, где дуют широтные ветры.

К сожалению, выйти за границы нашего «пузыря», нашей Вселенной для исследования других вселенных не косвенно (расчетным путем), а непосредственно (экспериментально) даже в будущем невозможно. Дело в том, что границы каждого «пузыря» расширяются со скоростью, большей скорости света, т.е. границы нашей Вселенной удаляются быстрее любого сигнала, который человек может послать к ним.

Современное знание о строении и эволюции Вселенной находится на этапе бурного роста, новых идей и важнейших открытий. Окончательных выводов наука еще не сделала, многое впереди.

7.4.1.2. Звезды, Солнце

Выбрасывание газа в пространство с поверхности звезд, особенно горячих и вспыхивающих как новые, происходило постоянно и происходит в наше время. Этот газ при благоприятных условиях может сгущаться в пылинки или подвергаться дальнейшим превращениям. Существуют облака пыли и газа, возникшие давным-давно и только что. В 1945—1947 гг. на основе исследований советскими учеными сделан вывод о том, что звезды имеют разный возраст, следовательно, они могут возникать и в наше время. Ближайшие к Земле области звездообразования — это темные облака в созвездиях Тельца и Змееносца. Несколько дальше расположен огромный комплекс облаков в Орионе.

Диапазон масс новорожденных звезд составляет от нескольких сотых долей до 100 масс Солнца, причем маленькие звезды рождаются чаще крупных. В нашей Галактике в среднем ежегодно рождается примерно десяток звезд различного размера с общей массой около пяти масс Солнцам

Установлено, что нормальная плотность газа в межзвездном пространстве Галактики составляет примерно один атом водорода в 10 $см^3$, тогда как в подобных газопылевых облаках плотность достигает 10 000 атомов на тот же объем[1].

Межзвездные облака обычно медленно вращаются и находятся в состоянии, близком к равновесию. Если же облако становится достаточно большим и плотным, то оно неустойчиво: преобладающей силой в нем становится тяготение, и облако начинает сжиматься. Теоретически показано, что сжатие под действием собственной массы начинается при массе облака, в 10—20 тыс. раз превышающей массу Солнца и плотности вещества облака более 20 атомов/$см^3$.

Самопроизвольное гравитационное сжатие облака — гравитационный коллапс[2] — приводит к образованию сгущения, включающего до 99% всей массы первичного облака и имеющего плотность вещества звезд. Одновременно растет температура, тепловое движение атомов ускоряется, при столкновении атомов появляется тенденция к их слиянию. Начинаются термоядерные реакции, в результате которых водород превращается в гелий и выделяется огромное количество теплоты.

[1] При нормальных условиях в атмосфере Земли в 10 $см^3$ содержится $2{,}7 \cdot 10^{20}$ атомов.

[2] Не путать с медицинским значением термина «коллапс», приведенным в разд. 1.3.1.

По современным понятиям эволюция звезд протекает в два этапа. Сначала из дозвездного вещества, состоящего по массе на 3/4 из водорода и на 1/4 из гелия, образуются звезды первого поколения. Это массивные звезды с быстрым течением протонных реакций. После того как в центре звезды резко снижается содержание водорода, она сжимается, давление и температура в ней резко возрастают и начинает «гореть» гелий — возникает критический момент в истории звезды.

Если масса звезды была достаточно большой, то реакции синтеза тяжелых ядер из ядер легких элементов происходят взрывообразно, т. е. вещество разогревается до температур в сотни миллионов градусов, при которых протекают энергетически невыгодные реакции синтеза тяжелых элементов, а сама звезда взрывается и вещество рассеивается во Вселенной.

После взрыва звезды первого поколения вещество, обогащенное малыми примесями практически всех химических элементов, может снова под действием гравитационного притяжения собраться в звезды. Это и есть звезды второго поколения. К ним относится и наше Солнце.

Взрыв звезды первого поколения, выбросившей вещество, из которого образовалась наша Солнечная система, произошел около 5 млрд лет назад. Большинство звезд нашей Галактики, как и Солнце, — звезды второго поколения. Однако во Вселенной имеются и водородно-гелиевые звезды, не успевшие еще в своем развитии дойти до взрыва; взрыв звезды — событие редкое.

Значительно чаще наблюдаются вспышки звезд. Так, иногда какая-нибудь малозаметная звезда внезапно, за недели, увеличивает свою светимость в миллионы раз и становится очень яркой, после чего она медленно, за месяцы, возвращается к более или менее первоначальному состоянию. Такую звезду принято называть *новой,* а само явление — *вспышкой новой.*

Реже наблюдаются еще более грандиозные явления, называемые *вспышками сверхновых звезд.* В нашей Галактике последние замеченные вспышки сверхновых звезд были зарегистрированы астрономами в 1054, 1572 и 1604 гг. (в указанные годы до Земли дошел свет от тех грандиозных событий). После взрыва сверхновой звезды светимость также быстро падает, но и она уже теряет прежний облик. На месте вспыхнувшей звезды остается быстро вращающаяся нейтронная звезда, пульсар, а остальное вещество с большой скоростью разлетается от него.

Нейтронные звезды с диаметром всего около 10 км по своей массе близки к Солнцу, которое имеет диаметр 1400 тыс. км. Их гравитационное поле столь велико, что вдавливает электроны всех атомов в их ядра и протоны ядер превращаются в нейтроны. Однако считается, что нашему светилу такая перспектива не грозит.

Солнце в общей структуре Вселенной принадлежит к галактике «Млечный Путь» — громадному скоплению звезд, видимому на небе как светлая туманная полоса. Наша Галактика имеет конечные размеры. Диаметр галактического диска составляет около 100 000 световых лет, толщина — 1000 световых лет. Внешне она напоминает чечевичное зерно с утолщением посередине. Из-за того что Солнечная система находится практически в плоскости Млечного Пути, заполненного материей, поглощающей излучения, очень многие детали строения Галактики скрыты от земного наблюдателя.

Внешняя часть Галактики вращается очень медленно, а внутренний галактический диск — быстро, причем скорость его вращения не одинакова на разных расстояниях от центра. Она изменяется от нуля до 200—240 км/с. Масса диска — 150 млрд масс Солнца. В среднем химический состав звезд и газа в диске почти такой же, как у Солнца. Основной химический элемент в Галактике — водород. Другой, наиболее распространенный элемент, — это гелий, составляющий около одной четверти нашей Галактики.

Одна из самых интересных областей Млечного Пути — ядро, для которого характерна очень высокая концентрация звезд. Расстояние между ними в десятки и сотни раз меньше, чем в окрестностях Солнца. В самом центре Галактики предполагается существование массивного компактного объекта — черной дыры массой около миллиона масс Солнца. Также там находится яркий радиоисточник «Стрелец А».

Наиболее заметными образованиями в диске нашей Галактики являются спиральные ветви (или рукава), из-за наличия которых она относится к «спиральным» галактикам (рис. 7.27). Вдоль рукавов в основном сосредоточены самые молодые звезды, многие звездные скопления и ассоциации, а также цепочки плотных облаков межзвездного газа, в которых продолжается образование новых звезд. В спиральных ветвях находится больше всего переменных и вспыхивающих звезд, где чаще всего наблюдаются взрывы сверхновых. В ветвях продолжается бурная «жизнь», связанная с переходом вещества из меж-

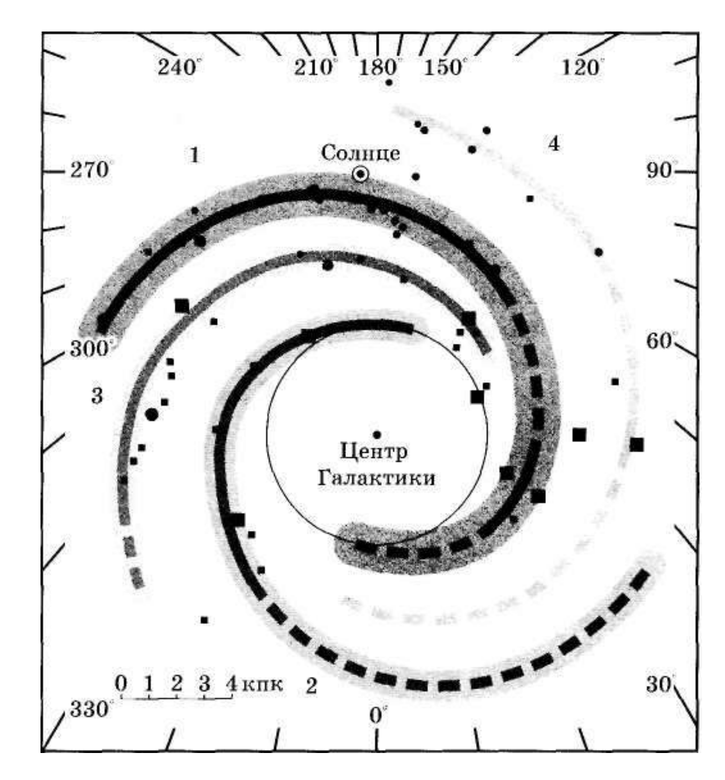


Рис. 7.27. Спиральная структура Галактики «Млечный Путь»: *1* — главный рукав; *2* — внутренний рукав; *3* — промежуточный рукав; *4* — внешний рукав; • — оптические наблюдения; • — радионаблюдения; кпк — килопарсек (1 пк = 3,26 световых лет 3,086 • 10^{16} м)

звездного пространства в звезды и обратно. Галактическое магнитное поле также сосредоточено преимущественно в рукавах.

С одной стороны, в окрестностях Солнца удается проследить участки двух спиральных ветвей, каждая из которых удалена от нашей планеты примерно одинаково — на 3 тыс. световых лет. По созвездиям, где обнаружены эти участки, их называют рукавами Стрельца и Персея.

С другой стороны, Солнце расположено на расстоянии 23—28 тыс. световых лет от ядра Галактики, т. е. посередине между центром и краем диска. Вместе со всеми близкими звездами Солнце вращается вокруг ее центра со скоростью 200—220 км/с, совершая один оборот примерно за 200 млн лет, т. е. за время своего существования она обернулась вокруг центра Млечного Пути не более 30 раз.

По существующим закономерностям вращения спиральных ветвей с постоянной угловой скоростью (аналогично спицам колеса), а также движения звезд в Галактике почти все звезды то попадают внутрь рукавов, то выходят из них. Редкое исключение из этого правила представляют лишь звезды, находящиеся на *коротационной окружности,* представляющей относительно наиболее спокойное место Галактики. Именно там и расположено Солнце. Для Земли последнее обстоятельство исключительно важно, ибо в рукавах происходят бурные процессы, порождающие мощное губительное для всего живого излучение, защитить от которого не смогла бы никакая атмосфера.

Длительное время положение Солнца среди звезд считалось самым заурядным, и только теперь стало ясно, насколько оно «привилегированное». Миллиарды лет Земля не испытывала катастрофического воздействия наиболее мощных космических катаклизмов, случавшихся за это время, что непременно следует учитывать при рассмотрении возможности существования жизни в иных частях нашей Галактики и Вселенной в целом.

7.4.1.3. Земля

Исследования земных и лунных пород, а также вещества метеоритов показали, что в окружающей нас части Солнечной системы нет вещества старше 4,6 млрд лет, поэтому признано, что она (система) возникла около 5 млрд лет назад. Современные астрономы, геологи и биологи пришли к выводу, что Земля образовалась из холодного газопылевого облака, и ее возраст составляет 4,5—5 млрд лет.

В начальный период развития наша планета была мало похожа на свое современное состояние. Столкновения частиц газопылевого облака вызвали их нагрев, после чего начали проявляться процессы гравитационной дифференциации вещества. Тяжелее элементы опустились вниз и образовали ядро Земли, а легкие — поднимались. В определенный момент размеры Земли стали таковы, что газы, выделявшиеся на поверхности из ее недр, стали удерживаться и образовали атмосферу, состоявшую в те времена из воды, аммиака, диоксида углерода и метана.

Первоначально огненно-жидкая Земля остывала, покрывалась коркой, которая коробилась по мере остывания недр и уменьшения их объема. В результате 4 млрд лет назад возникла твердая базальтовая оболочка (кора) и начался необратимый процесс ее развития. Горные породы, слагающие земную кору, образовывались в определенной последовательности,

в результате чего планета приобрела сложную геологическую структуру.

До тех пор пока температура Земли не снизилась до 100 °С, вода, вероятно, находилась в парообразном состоянии. Атмосфера, видимо, была «восстановительной», что подтверждается нали [ием в самых древних горных породах Земли металлов в восстановленной форме, таких, как двухвалентное железо (Fe^{2+}).

Подсчитано, что возникновение Земли из допланетного облака длилось примерно 100 млн лет.

7.4.1.4. Шкалы времени

С момента образования Земля прошла необратимый путь развития и приобрела сложную геологическую структуру. Используя специальные геологические методы, ученые восстановили основные этапы эволюции Земли.

Подлинную революцию в изучении истории Земли совершила наука **палеонтология** (от греч. *palaios* — древний, *ontos* — сущее, *logos* — учение), изучающая вымерших животных и растения. Отмирая, они оставались в древних осадках, «консервировались» в них и превращались в окаменелости. Опираясь на результаты палеонтологических исследований, геологи подразделили всю толщу осадочных слоев земной коры на ряд естественных серий, каждой из которых характерен свой определенный комплекс ископаемых окаменелостей.

Для определения относительного возраста пород используют ископаемые останки не только животных, но и растений (споры, пыльцу, отпечатки листьев). Наиболее характерные ископаемые организмы для определенного отрезка геологического времени называют *руководящей фауной.*

Палеонтологический метод применим только к осадочным отложениям, так как в магматических и метаморфических породах ископаемые организмы не встречаются. Кроме того, этот метод не позволяет определить продолжительность эр и периодов в годах. Для того чтобы сравнить события в биосфере с событиями за ее пределами, нужна иная шкала — астрономическая или адекватная ей, которая может использоваться в качестве абсолютной шкалы. Поэтому, спустя 100 лет после разработки палеонтологического метода, было предложено определять время в годах с момента образования породы, пользуясь радиоизотопным методом.

Радиоизотопные методы измерения промежутков времени в миллиарды лет основаны на том, что всегда и независимо от

внешних условий число радиоактивных атомов (N_t) и масса изотопа убывают со временем по закону

$$N_t = N_0 e^{-0,693t/T_{0,5}},$$

где N_0 — начальное количество изотопа; t — время процесса; $T_{0,5}$ — период полураспада.

Изотопы звездного происхождения с периодами полураспада в 10^5—10^7 лет в земной коре до наших дней не сохранились. Они стали вновь возникать только после 1945 г. как результат ядерных взрывов и управляемых ядерных реакций.

Тем не менее в природе существуют изотопы с периодами полураспада, сравнимыми с возрастом Вселенной. К ним относятся изотопы урана, тория и калия, которые были свидетелями времен образования Солнечной системы.

Среди многочисленных методов определения «абсолютного» возраста объекта наиболее распространены свинцово-уранотoриевый, калий-аргоновый и рубидий-стронциевый.

Так, свинцово-ураноториевый (или свинцовый) метод основан на использовании трех процессов радиоактивного распада: $^{238}U \rightarrow {}^{206}Pb$, $^{235}U \rightarrow {}^{207}Pb$, $^{232}Th \rightarrow {}^{208}Pb$. Измерив в ураноториевом минерале содержание всех шести изотопов урана, тория и свинца, можно найти пять изотопных отношений: $^{238}U / {}^{235}U$; $^{206}Pb / {}^{238}U$, $^{207}Pb / {}^{235}U$; $^{208}Pb / {}^{232}Th$ и $^{207}Pb / {}^{206}Pb$. Из 100 г урана за 74 млн лет образуется 1 г (1%) изотопа свинца (^{206}Pb), накапливающегося в минералах. Первое отношение $^{238}U / {}^{235}U$ во всех случаях составляет 137,7, и поэтому остальные четыре отношения позволяют получить четыре оценки возраста минерала. Когда все четыре отношения дают одинаковый возраст, результат признается достоверным. Точность этого метода самая высокая и оценивается в ± 5%. Свинцовый метод применяется ограниченно, поскольку ураноториевые минералы встречаются в природе редко.

Возраст более молодых пород (до 60 тыс. лет) определяют по содержанию радиоактивного изотопа углерода ^{14}C, который образуется в высоких слоях атмосферы под действием космических нейтронов. Период полураспада ^{14}C составляет 5730 лет. Измеряя содержание этого изотопа, можно определить, когда росло дерево, когда оно синтезировало органические соединения из атмосферного диоксида углерода.

Учет изотопов кислорода, входящих в состав $CaCO_3$, составляющего раковину моллюсков, позволяет определить даже температуру воды, в которой жил вымерший вид, и многое другое.

7.4.2. Эволюция биосферы

Одной из центральных проблем биологии является природа жизни, ее происхождение, разнообразие живых существ и объединяющая их структурная и функциональная близость. Главными современными теориями возникновения жизни на Земле являются следующие:

- сотворение Богом в определенное время;
- самопроизвольное и неоднократное возникновение из неживого вещества;
- изначальное существование, т. е. была всегда;
- появление на планете извне;
- возникновение в результате процессов, подчиняющихся химическим и физическим законам (биохимическая эволюция).

В основе биологической эволюции лежат уникальные процессы самовоспроизведения макромолекул и живых организмов, таящие в себе почти неограниченные возможности преобразования систем в ряду поколений. Применительно к живым организмам эволюцию определяют как «развитие сложных организмов из предшествующих более простых организмов с течением времени».

Биологическая эволюция — необратимое и в известной степени направленное историческое развитие живой природы, сопровождающееся изменением генетического состава популяций, формированием адаптации, образованием и вымиранием видов, преобразованиями биогеоценозов, крупных экосистем и биосферы в целом.

Результатом биологической эволюции всегда является соответствие развивающейся живой системы условиям ее существования.

Достижение этого соответствия сопряжено с преимущественным распространением одних и гибелью других дискретных биологических систем.

Эволюция биосферы на протяжении большей части своей истории шла под влиянием двух главных факторов:

- естественных геологических и климатических изменений на планете;
- изменений видового состава и количества живых существ в процессе биологической эволюции.

На современном этапе следует учитывать и третий фактор — развивающееся человеческое общество.

7.4.2.1. Химическая эволюция живого

На основании последних теоретических и экспериментальных данных считается, что жизнь зародилась в пределах Солнечной системы на ранних стадиях ее развития. Подтверждением этого является тот факт, что органические соединения достаточно большой сложности (вплоть до аминокислот) присутствуют в некоторых метеоритах — древнейших каменных телах, сохранивших признаки своего образования в «замороженном» состоянии. Список органических соединений в метеоритах (осколках астероидов) достаточно велик.

Синтез сложных органических соединений как предшественников живого вещества был закономерным этапом в химической эволюции Солнечной системы в канун формирования планет. Это явление было типичным и массовым.

Большинство современных теорий, расходясь в некоторых деталях, в целом аналогичным образом трактуют начальные стадии возникновения и химической эволюции жизни в пределах нашей планеты.

Теория Опарина. Отсутствие в атмосфере кислорода, вероятно, было необходимым условием для возникновения жизни. Лабораторные опыты показали, что органические вещества (основа живых организмов) значительно легче синтезируются (создаются) в восстановительной среде, чем в присутствии кислорода.

Известным советским ученым А. И. Опариным **(1923)** была высказана гипотеза, что органические вещества могли создаваться в океане из более простых соединений при воздействии интенсивного ультрафиолетового излучения Солнца, которое в тот период не ослаблялось слоем озона, ибо его еще не существовало. Отсутствие озонового слоя означало, что жизнь в те времена могла развиваться только в воде на глубинах более 10 м. Разнообразие простых соединений в океанах, площадь поверхности Земли, доступность энергии и масштабы времени позволили Опарину предположить, что в океанах постепенно накопились органические вещества и образовался тот «первичный бульон», в котором смогла возникнуть жизнь.

С. Миллер **(1953)** на лабораторной установке смоделировал условия (температуру, давление, состав газовой среды, а также высоковольтный электрический разряд как: источник энергии), которые предположительно имели место на Земле в те далекие времена. Ему удалось синтезировать многие биологически важные вещества, такие, как аминокислоты, аденин и

простые сахара. На подобной установке синтезировались простые нуклеиновые кислоты. Позже эти результаты были многократно проверены и уточнены.

Подтвержденная экспериментально теория Опарина завоевала широкое признание, однако наиболее тонким звеном в ней (проблемой, не решенной до настоящего времени окончательно) является переход от сложных органических веществ к простым живым организмам. Предлагается лишь относительно приемлемая общая схема, и отсутствует единое мнение о деталях этого процесса.

А. И. Опарин предположил, что превращение неживого в живое происходило благодаря белкам, которые имеют свойство образовывать коллоидные комплексы, притягивающие к себе молекулы воды и создающие из них некую оболочку. Эти комплексы могут обособляться от остальной массы воды и сливаться друг с другом, т. е. возможен процесс **коацервации** (от лат. *coacervatio* — собирание в кучу, накопление). Богатые коллоидами коацерваты, возможно, были способны избирательно извлекать и накапливать из окружающей среды различные соединения. Состав конкретного коацервата, вероятно, зависел от состава окружающей его среды.

Разнообразие «первичного бульона» в разных местах вызывало различие в химическом составе коацерватов — условие для «биохимического естественного отбора». Внутри коацерватов вещества могли вступать в различные химические реакции, в том числе поглощать ионы металлов и образовывать ферменты. На границе коацерватов и окружающей их среды выстраивались липиды, что вело к образованию примитивной клеточной мембраны, создававшей стабильность коацерватов и обеспечивавшей пространственно-временное разобщение начальных и конечных продуктов реакции. Образование мембранной структуры считается самым трудным этапом химической эволюции. Истинное существо (в виде клетки, пусть даже самой примитивной) не могло оформиться до возникновения мембранной структуры и ферментов.

Рост размеров коацерватов и их фрагментация (деление), возможно, вели к образованию одинаковых коацерватов, и таким образом процесс мог продолжаться. Описанная последовательность событий должна была привести к возникновению примитивного гетеротрофного организма, питающегося органическими веществами первичного бульона.

У современных организмов выявлено большое разнообразие биохимических путей связывания и освобождения энер-

гии, что, вероятно, отражает первые эксперименты природы над живыми организмами.

Хиральная чистота жизни. В воссозданной схеме происхождения жизни одним из самых загадочных остается факт, сформулированный Л. Пастером в виде *закона хиральной*[1] *чистоты:*

> живое вещество состоит только из хирально чистых структур.

Хиральность или хиральная чистота — свойство объекта (индивидуальных молекул и их соединений) быть несовместимыми со своим отображением в идеально плоском зеркале. Так, белки живого построены только из «левых» (левовращающих — поляризующих свет влево) аминокислот, а нуклеиновые кислоты состоят исключительно из «правых» (правовращающих — поляризующих свет вправо) Сахаров и так далее.

Вещества небиогенного происхождения всегда имеют одинаковое количество «правых» и «левых» молекул, они зеркально симметричны.

Эксперименты показали, что только в хирально чистых растворах могло возникнуть биологически значимое удлинение цепочки полинуклеотидов и процесс саморепликации. Живые системы организованы так, что т-РНК[2] из «правых» Сахаров присоединяет к себе только «левые» аминокислоты. Все живое поддерживает свою хиральную чистоту, и эволюция не снабдила организмы средствами для обитания в зеркально симметричной среде. Поэтому возникновение живого из неживого в современных условиях невозможно.

Роль хиральности в живой природе столь велика, что поиск хирально чистых веществ на других планетах рассматривается как один из вариантов обнаружения внеземной жизни.

Первые организмы. В позднем архее (более 3,0 млрд лет назад) на дне небольших водоемов или мелководных, теплых и богатых питательными веществами морей возникли первые организмы в виде мельчайших примитивных существ — **протобионтов** (от греч. *protos* — первый, *bions* — живущий). Предполагается, что они были гетеротрофами, так как толь-

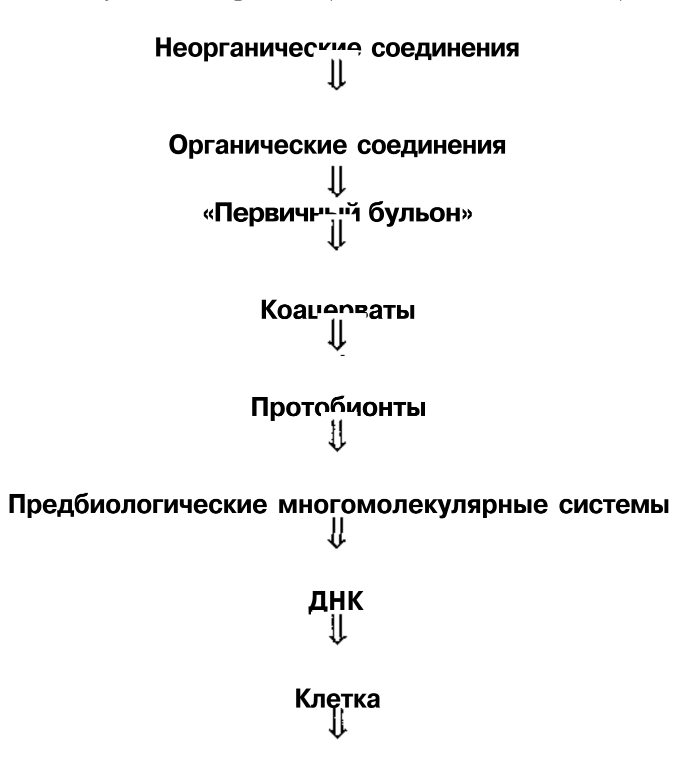
[1] Происхождению термина «хиральность» (от греч. *cheir* — рука) способствовала аналогия с правой и левой руками. В отечественной литературе встречается иное написание термина — «киральность».

[2] т-РНК — транспортная рибонуклеиновая кислота

ко гетеротрофы могут использовать энергию, заключенную в сложных органических веществах первичного бульона, синтезированных в ходе химической эволюции. Для самых ранних стадий жизни химические реакции синтеза питательных веществ были слишком сложны и недоступны. Вероятно, протобионты были дрожжеподобными анаэробами и энергию, необходимую для дыхания, получали путем брожения. Однако брожение по сравнению с кислородным дыханием — относительно малоэффективный способ энергообеспечения. Поэтому эволюция не могла пойти дальше одноклеточной формы организации жизни, к которым относятся одноклеточные прокариоты.

Питание первых примитивных организмов было ограниченно и, по-видимому, зависело от медленно опускавшихся органических веществ, синтезировавшихся под действием радиации в верхних слоях воды, куда «голодные» микробы не рисковали подниматься.

Таким образом, схема образования живого из неживого выглядит следующей чередой (последовательностью) событий:



Приведенная гипотеза происхождения жизни А. И. Опарина — одна из самых признанных. Однако мысль о том, что живое возникло только лишь как результат вышеописанных случайных взаимодействий молекул, по выражению астронома Ф. Хойла, «столь же нелепа и неправдоподобна, как утверждение, что ураган, проносясь над мусорной свалкой, может привести к сборке «Боинга 747». Труднее всего по данной теории объяснить, как именно появилась способность живых существ к самовоспроизведению. Существующие гипотезы малоубедительны, и это никак не подтверждено экспериментально.

7.4.2.2. Органическая эволюция

Постепенно ресурсы в виде «первичного бульона» истощались, и хемосинтез начал затухать, однако в ходе биохимической эволюции образовались более сложные органические вещества. Среди них появились и такие, что оказались способны осуществлять фотосинтез, т. е. использовать для синтеза необходимых клеточных веществ непосредственно энергию излучения Солнца, проникавшую в глубь воды. С включением этих веществ в состав существовавших клеток последние стали самостоятельно синтезировать свои клеточные материалы, и необходимость поглощать их извне отпала — клетки стали автотрофными.

Полагают, что самые первые фотосинтезирующие клетки были лишены метаболизма, ведущего к образованию молекул кислорода; организмы, способные к фотосинтезу с выделением кислорода, подобные современным синезеленым водорослям, появились позже. Тогда количество кислорода в воде стало быстро расти, а вследствие десорбции (выделения) его в атмосферу она из восстановительной превратилась в окислительную. С данного момента началось постепенное накопление кислорода в атмосфере, и когда его концентрация стала равна 1% от современного уровня, победа аэробов над анаэробами стала окончательной. Соответствующий момент получил название *1-й точки Пастера.* Произошло это геологически внезапно не более чем за 100—200 тыс. лет.

Описанные события происходили в архее около 2 млрд лет назад (рис. 7.28). Они вызвали огромные изменения в химии Земли, обеспечили быстрое распространение жизни и развитие эукариотических клеток. Свидетельством того служат разнообразные геологические формации, образовавшиеся в результате выпадения в осадок многих минералов, таких, как соединения железа.

С ростом количества кислорода в атмосфере увеличивался также слой озона и, как следствие, уменьшался уровень ультрафиолетовой радиации, достигавшей поверхности Земли.

Аэробное дыхание сделало возможным развитие сложных многоклеточных организмов. Считается, что первые ядерные клетки появились после того, как содержание кислорода в атмосфере достигло 3—4% его современного уровня (или около 0,6% состава той атмосферы). Случилось это примерно 1 млрд лет назад (см. рис. 7.26). Многоклеточные организмы, вероятно, появились 700 млн лет назад по достижении концентрации кислорода в атмосфере 8% от современного уровня.

Период времени, когда существовали только мелкие, прокариотические одноклеточные формы жизни, называется *до-*



Рис. 7.28. Схема эволюции состава атмосферы и биосферы (по *Ю. Одуту* с дополнениями)

кембрием. В *кембрийский* период произошел эволюционный взрыв новых форм жизни, таких, как губки, кораллы, черви, моллюски, морские водоросли и предки семенных растений и позвоночных. В течение последующих периодов палеозойской эры жизнь заполнила все моря.

После возрастания концентрации кислорода в атмосфере и достижения уровня 10% от современного *(2-я точка Пастера)* озоновый слой стал настолько эффективно защищать живое от жесткого ультрафиолетового излучения, что жизнь постепенно вышла из водной среды на сушу. Дальнейшее формирование наземных экосистем пошло относительно автономно от процессов эволюции водных экосистем. Развитие наземной зеленой растительности обеспечило большие количества кислорода и пищи, которые были необходимы для последующей эволюции таких крупных животных, как динозавры и млекопитающие, а также человека. Одновременно океанический планктон дополнительно к формам с клеточными оболочками из органических веществ пополнился формами с известковыми, а позже и с кремниевыми оболочками.

В середине палеозоя (около 400 млн лет назад) потребление кислорода сравнялось с его продуцированием, в результате чего концентрация кислорода в атмосфере стабилизировалась на уровне современного, т. е. около 20%. Это позволяет экологии проводить аналогию между эволюцией биосферы и сукцессией.

В конце палеозоя (350—250 млн лет назад) изменился климат, послуживший началом обширного «автотрофного цветения», вызвавшего снижение содержания 0_2 и повышение содержания $C0_2$. В результате этого создались запасы ископаемого топлива — основы энергетики в наши дни. Позже (200—150 млн лет назад) содержание кислорода и углекислого газа в атмосфере постепенно вернулось к относительно стабильному уровню, сохранившемуся до наших дней.

За время эволюции биосферы усиление ее биопродуктивности всегда сопровождалось интенсивным образованием многих полезных ископаемых, таких, как нефть, газ, уголь, горючие сланцы, фосфориты, калийные соли и др.

Земля пригодна для жизни уже около 4 млрд лет, что в первую очередь свидетельствует о малых колебаниях температуры ее поверхности. За это продолжительное время не происходило ни сильного переохлаждения, ни сильного перегрева, т. е. приход энергии из космоса был равен ее расходу. Тем не менее в отдельные периоды происходили достаточно силь-

ные колебания климатических условий среды обитания живых организмов, например, колебания уровня Мирового океана с разницей между максимумом и минимумом, по некоторым оценкам, порядка 300—400 м.

Периоды общего похолодания на нашей планете чередовались с периодами потепления достаточно часто. Ледяные шапки на полюсах как бы пульсируют: то разрастаются, то сокращаются. Считается, что за цикл «разрастание — отступление» ледниковые покровы пропускают через себя весь объем гидросферы. Подобные циклы продолжаются около 100 тыс. лет. За последний миллион лет этих циклов было (по разным оценкам) от четырех до восьми. Во всяком случае, твердо утверждается, что за это время вся гидросфера Земли несколько раз полностью прошла через твердую фазу в ледниках планеты.

Все оледенелые и безледные состояния нашей планеты пока еще не известны. Чем древнее отложения, тем труднее выявить точную картину прошлых событий. Тем не менее существуют оценки, в соответствии с которыми общее количество оборотов гидросферы через ледники исчисляют тысячами.

Наиболее крупными достоверно установленными периодами наступления ледников являются эпохи оледенения:

- в середине раннего протерозоя;
- с конца верхнего рифея и до начала венда;
- с конца палеогена (около 25 млн лет назад);
- «великие оледенения» северных материков в антропогеновый период.

Так, в среднем плейстоцене (45—60 тыс. лет назад) мощные ледниковые языки спустились почти до 48° с. ш. в Европе и до 37° с. ш. в США. В это время в Северном полушарии было сосредоточено до 67% площади континентальных ледников земного шара, тогда как в наши дни эта величина не превышает 16%.

Ледниковый климат относительно устойчив, и продолжительность каждого ледникового периода составляла десятки тысяч лет. До сих пор не ясно, каким образом и почему Земля выходила из этого состояния, причем таяние многокилометровой толщи ледников происходило относительно быстро, примерно за 1 тыс. лет. Многолетнее промерзание пород на севере России (отголосок последнего ледникового периода) продолжается до настоящего времени.

Межледниковые эпохи характеризовались относительно мягким климатом. Средние температуры при этом повыша-

лись на 6—12 °С. Последние 10 тыс. лет относятся к послеледниковой эпохе.

Наиболее стабильные условия в биосфере были в эпохи между парами «гигантских волн жизни». Особенно выделяется позднемеловая эпоха, когда почти 20 млн лет не происходило ни грандиозного соленакопления, ни накопления органики (в виде топлива). В это время на Земле были наиболее благоприятные климатические условия. Средние широты характеризовались слабовлажным теплым климатом, тропики — менее влажным, чем сейчас. В высоких широтах тогда не было оледенения, а климат был достаточно теплым и не очень влажным.

Считается, что наши дни относятся к эпохе между бурными событиями последней гигантской волны жизни и грядущей гигантской волной с буйством флоры на континентах типа раннеюрской. При естественном ходе событий без антропогенного вмешательства человека ее начало ожидается через 5—10 млн лет.

Эволюционный прогресс не был случаен. С одной стороны, жизнь занимала все новые пространства, с другой стороны, условия существования на Земле непрерывно менялись и всему живому приходилось к ним приспосабливаться. Этим и создается направленность эволюции. Одни виды (сообщества, экосистемы) сменяют другие. В истории Земли неоднократно происходили массовые вымирания целых видов. За последний миллиард лет произошли пять или шесть катастрофических вымираний преимущественно многочисленных видов животных. Так, 650 млн лет назад относительно внезапно исчезли многие формы одноклеточных водорослей, 450 млн лет назад резко поредели панцирные обитатели океана, а 65 млн лет назад исчезли многие рептилии.

Причины этого могли быть разнообразны: от падения на Землю астероида до возникновения более прогрессивных форм, лучше приспособленных к новым условиям жизни, подвижных, «сообразительных». Истинные же причины произошедшего, возможно, не станут известны никогда, но все эти вымирания были:

- неодновременными по всей планете;
- растянуты на миллионы лет;
- не связаны с деятельностью человека.

В настоящее время ежедневно в мире исчезает по одному виду животных и еженедельно — по одному виду растений, а по обоснованным прогнозам один вид животных скоро будет

исчезать ежечасно. К вымиранию ведет расхождение между темпами эволюции и темпами изменения среды. Следует отметить, что вымирание одних групп часто служит условием возникновения и распространения новых групп организмов, увеличения многообразия жизни на Земле. Всегда на место ушедших форм приходят новые.

Вымирание одних и формирование новых видов — процесс каскадный, лавинообразный. Каждый вымерший вид увлекает за собой 7—11 других связанных с ним видов. Образование нового вида крупного организма формирует свою группу с таким же числом взаимосвязанных видов, так как по закону *константности количества живого вещества* В. И. Вернадского

> количество живого вещества биосферы (для данного геологического периода) есть константа.

Живое вещество, согласно закону биогенной миграции атомов, является энергетическим посредником между Солнцем и Землей. При постоянном потоке солнечной энергии и относительной неизменности на протяжении миллиардов лет общей энергетики нашей планеты либо количество живого вещества должно быть постоянным, либо должны меняться его энергетические характеристики, что в свою очередь исключается законом физико-химического единства живого вещества.

По подсчетам палеонтологов, существующие в настоящее время виды составляют лишь ничтожную часть (2—5%) из общего числа видов, когда-либо образовавшихся на Земле в ходе эволюции (около 500 млн видов за последние 4,5 млрд лет), т. е. основная часть существовавших видов вымерла.

При этом история развития жизни на Земле показывает, что вымирание как эволюционный процесс — необязательный момент в развитии группы, о чем свидетельствуют существующие реликты. Так, морское плеченогое лингула существует в неизменном виде с ордовика (более 500 млн лет); кистеперая рыба латимерия, которая встречается в глубоководных участках прибрежных вод Восточной Африки, сохранила свое строение и форму с девона (400—350 млн лет назад). Эпохи Лавразии и Гондваны (400—150 млн лет назад) оставили много реликтовых форм с разорванным ареалом. Например, осетровые и в первую очередь веслоносы обитают одни в Китае, а другие в Миссисипи (этих пресноводных рыб теперь разделяют океаны).

Для возникновения живого, отличающегося от неживого, были необходимы уникальные и неповторимые условия ранней эволюции Земли как планеты. С появлением форм преджизни и праорганизмов стал действовать принцип, выявленный итальянским естествоиспытателем и врачом **Ф. Реди (1626—1698)** и заново сформулированный В. И. Вернадским **(1924):**

живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом существует непроходимая граница, хотя и имеется постоянное взаимодействие.

Если бы в наши дни сложились локальные условия для повторного возникновения жизни (например, в жерле затухающего вулкана) или она была бы занесена извне (из космоса), то возможны следующие два исхода:

- она не смогла бы долго существовать, так как была бы уничтожена уже существующими организмами;
- стала бы глобальным бедствием, ибо подавила бы существовавшее ранее.

С начала формирования биосферы современного типа постепенно росло число видов организмов, их биомасса и продуктивность. Это увеличение продолжалось до тех пор, пока названные характеристики биосферы не стали постоянными. Такой рост и стабилизация могли произойти достаточно быстро. Предельное число видов в ходе эволюционного процесса могло возникнуть всего за 70 млн лет.

Биосфера развивается при тесной совместной эволюции организмов. Такую коллективную, сопряженную эволюцию называют **коэволюцией**[1]. Она шла в геологическом масштабе времени миллиарды лет. Мощные антропогенные факторы возникли на Земле за исключительно короткое время, однако по мощности воздействия на биосферу они стали сопоставимы с природными.

Часть организмов приспособилась и сделалась синантропами — спутниками человека, обитая в местах, населенных человеком, и в созданных им агроценозах. Однако надеяться на

[1] Коэволюция — это тип эволюции сообщества, заключающийся во взаимных селективных воздействиях друг на друга двух больших групп организмов, находящихся в тесной экологической взаимозависимости, таких, как растения и травоядные, крупные организмы и их микроскопические симбионты, паразиты и их хозяева. Обмен генетической информацией между группами минимален или отсутствует.

коэволюцию человека и природы в современных условиях нельзя, так как природе не угнаться за человеком, за производимыми им изменениями. Кроме того, при всем социальном и экономическом величии люди остаются биологическими существами — рождаются, живут и умирают.

Находясь в единой сети жизни, человек подчиняется ее законам, в соответствии с одним из которых:

любой вид может существовать до тех пор и постольку, поскольку окружающая его среда соответствует генетическим возможностям приспособления к ее колебаниям и изменениям. В чуждой среде вид существовать не может.

Именно поэтому в природе виды поддерживают среду своего обитания, во всяком случае не разрушая ее. Даже паразиты настолько «разумны», что полностью не уничтожают своих хозяев.

В ходе геологического времени развитие биосферы носило необратимый характер. Основываясь на эволюционном учении и палеонтологических данных, бельгиец Л. Долло (1857—1931) сформулировал закон *необратимости эволюции:*

организм не может вернуться, хотя бы частично, к предшествующему состоянию, которое было уже осуществлено в ряду его предков.

История развития атмосферы ярко иллюстрирует абсолютную зависимость живых организмов, и прежде всего человека, от других организмов, населяющих биосферу. Однако антропогенное воздействие на биосферу, в частности загрязнение воздуха пылью, парниковыми газами ($C0_2$, CH_4, N_20 и др.), фреонами и иными веществами, может нарушить существующую хрупкую стабильность.

7.4.2.3. Развитие теории эволюции

История развития теории эволюции показывает, что концепция непрерывности или постепенного развития более сложных видов из предществующих более простых форм возникла у ряда философов и естествоиспытателей еще в Древнем Китае (Конфуций), в Античную эпоху (Диоген, Демокрит, Аристотель и др.) и в Средневековье, т. е. задолго до формального провозглашения эволюционных гипотез в начале XIX в.

Французский биолог Ж. Б. Ламарк (1809) выдвинул гипотезу о механизме эволюции, основанную на двух предпосылках: упражнение и неупражнение частей организма и наследование приобретенных признаков. Взгляды Ж. Ламарка способствовали подготовке почвы для принятия эволюционной концепции, но не получили широкого признания.

Несколько раньше священник Т. Мальтус (1798) опубликовал «Трактат о народонаселении», где привлек внимание к репродуктивному потенциалу человека и ярко обрисовал, к чему мог бы привести рост населения, происходящий по экспоненте, если бы он ничем не сдерживался.

Ч. Дарвин (1809—1882), вернувшись в 1836 г. из пятилетнего кругосветного путешествия, совершенного на военном корабле «Бигль», перенес рассуждения Т. Мальтуса на полученные им в плавании материалы наблюдений за флорой и фауной Галапагосских островов. Сопоставляя огромное количество сведений, он в 1839 г. сформулировал теорию эволюции путем естественного отбора. Считают, что основной вклад Ч. Дарвина в науку заключается не в доказательстве существования эволюции, а в объяснении, как именно она может происходить.

Одновременно с Ч. Дарвином другой много путешествовавший естествоиспытатель А. Р. Уоллес (1822—1913), изучив труд Т. Мальтуса, пришел к таким же выводам, что и Ч. Дарвин. В 1858 г. он изложил свою теорию в письме к Ч. Дарвину. В июле 1858 г. они выступили с докладами на заседании Линнеевского общества в Лондоне, а уже в ноябре следующего года Ч. Дарвин опубликовал «Происхождение видов путем естественного отбора». Тираж книги был продан за один день, и считают, что по своему воздействию на человеческое мышление она уступала только Библии.

Теория эволюции, предложенная Ч. Дарвиным и А. Уоллесом, была значительно расширена и доработана в свете современных данных генетики, палеонтологии, молекулярной биологии и экологии и получила название «неодарвинизма», который определяют как *теорию органической эволюции путем естественного отбора признаков, детерминированных генетически*.

Теория эволюции завоевала широкое признание[1], однако предстоит еще многое сделать для ее уточнения и приложения

[1] Запрет Ватикана на теорию эволюции Ч. Дарвина был снят лишь в 1996 г., а четырьмя годами раньше, в 1992 г., было отменено действие Декрета от 1633 г., осуждавшего Г. Галилея за приверженность гелиоцентрической теории строения Солнечной системы.

ко всем наблюдаемым ситуациям. В научных дискуссиях об эволюции давно обсуждается не сам факт ее существования, а то, что она происходит путем естественного отбора случайно возникающих мутаций. Современное объяснение изменчивости живых организмов — это рез гльтат синт? за теории эволюции, основанной на работах Ч. Дарвина и А. Уоллеса, и теории наследственности, основанной на законах Менделя.

7.4.2.4. Учение о ноосфере

Эволюция органического мира, осуществлявшаяся на основании только биологических закономерностей жизнедеятельности и развития, происходила в два этапа:

- возникновение первичной биосферы с биотическим круговоротом (химическая эволюция по А. И. Опарину) примерно 4,6—3,5 млрд лет тому назад;
- усложнение биоценоза как результат появления многоклеточных организмов (органическая эволюция), начиная примерно с 3,5 млрд лет тому назад.

Возникновение на Земле человеческого общества способствовало выделению третьего этапа эволюции биосферы.

Эволюция центральной нервной системы постепенно превратила *Homo sapiens* в самое могущественное существо на земном шаре, по крайней мере по способности изменять функционирование экосистем и биосферы в целом. Человек долгое время усиливал власть над природой, развивал технический потенциал, увеличивал эксплуатацию природных ресурсов, однако в дальнейшем этот процесс может привести лишь к катастрофическому разрушению природной среды с последующим снижением качества жизни.

Приняв за исходное биогеохимическую основу биосферы, установленную академиком В. И. Вернадским, французский философ Э. Леруа (1927) предложил понятие **ноосферы** (от греч. *noos* — ум, разум; *sphaira* — шар), назвав так современную ему стадию развития биосферы. Э. Леруа и его последователи дали трактовку ноосферы как «мыслящего пласта», зародившегося в конце неогена (около 1 млн лет назад) и с тех пор разворачивающегося над миром растений и животных вне биосферы и над ней. В свою очередь В. И. Вернадский принял и в последующие 15—20 лет развил понятие «ноосферы» как сферы разума — высшей стадии развития биосферы, связанной с возникновением и становлением в ней цивилизованного

человека, с периодом, когда разумная человеческая деятельность становится главным, определяющим фактором развития на Земле. Окончательно сформулировавшиеся к 1943 г. и опубликованные в 1945 г. идеи В. И. Вернадского о неотделимости человечества от биосферы указывают на главную цель в построении ноосферы. Она заключается в неизменности того типа биосферы, в которой возник и может существовать человек как вид, сохраняя свое здоровье, образ жизни.

На современном этапе отношения «человек—природа» носят сложный характер. Преобразующая деятельность человека в биосфере неизбежна, так как с ней связано благосостояние населения. Незнание или нежелание учитывать свойственные природе законы поставило на грань сомнения если не существование всей биосферы, то как минимум возможность достойного развития в ней «Человека разумного».

Мозг человека представляет собой «устройство» с низкими количественными и высокими качественными энергетическими характеристиками, а также с огромными способностями к управлению. Однако нельзя не признать, что человек пока не обладает достаточной прозорливостью, чтобы понимать последствия своих действий. Говорить о сегодняшнем состоянии биосферы, как о ноосфере, еще рано. В современном понимании

ноосфера — это гипотетическая стадия развития биосферы, когда в будущем разумная деятельность людей станет главным определяющим фактором ее устойчивого развития.

Гармония антропогенной деятельности человека и природы возможна только при

- осуществлении контроля численности человечества;
- ограничении чрезмерных потребностей людей;
- рационализации использования природных ресурсов;
- использовании только экологически целесообразных промышленных технологий с максимальной переработкой и применением вторичных материальных и энергетических ресурсов;
- осуществлении глобального мониторинга за состоянием окружающей природной среды и др.

Определенный шаг в направлении перехода биосферы в ноосферу — осознание и провозглашение необходимости перехода мирового сообщества на позиции устойчивого развития.

7.5. Ресурсы биосферы

Источниками существования живого в биосфере, или ее ресурсами, являются кислород, вода, почва, минералы, растительность, животные и др. Ресурсы делятся на неисчерпаемые и исчерпаемые (рис. 7.29). Неисчерпаемость Космоса, энергии Солнца, гравитации и многого другого в масштабе сроков эволюции человека в биосфере очевидна.

Быстро возобновимые исчерпаемые ресурсы воссоздаются популяциями, имеющими большой биотический потенциал (видовая способность к размножению при отсутствии ограничений со стороны среды) и большую скорость роста (травяная растительность, животные).

Относительно (медленно или не полностью) возобновимые ресурсы являются сложными многокомпонентными экосистемами (почва, лес). Так, почва — результат деятельности почвенных микроорганизмов, растений, грибов и животных — способна возродить свое плодородие, но происходит это крайне медленно. Для восстановления 1 см толщины плодородного слоя почвы требуется в среднем около 150 лет. В разных кли-



Рис. 7.29. Классификация ресурсов по признакам исчерпаемости

матических и ландшафтных зонах этот процесс идет с разной скоростью. Для восстановления зрелого хвойного леса (устойчивое климаксное сообщество) требуется около 100 лет. Молодые леса, не являющиеся устойчивыми сообществами, восстанавливаются быстрее.

Невозобновимые ресурсы биосферы (например, ископаемые руды, осадочные породы и др.) и сейчас образуются при геохимических процессах в недрах, глубинах океана, а также на поверхности земной коры, но скорость их формирования в земной коре или ландшафтной сфере несравнимо меньше скорости их потребления человеческим обществом.

7.5.1. Природные ресурсы

Часть ресурсов биосферы, которые на данном уровне развития производительных сил и изученности могут использоваться для удовлетворения потребностей человеческого общества, принято называть *природными ресурсами* (по определению А. А. Минца). При этом к природным ресурсам также относят некоторые компоненты недр Земли, которые никому, кроме человека, не нужны и даже вредны (нефть, ртуть, уран и др.).

В настоящее время природными ресурсами называют природное сырье и топливо для производства продуктов потребления человека.

Важно отметить, что тела и явления природы становятся определенным ресурсом лишь в том случае, если в них возникает потребность. Поэтому объем природных ресурсов меняется в зависимости от района земного шара и стадии социально-экономического развития общества. Так, в первобытно-общинном обществе потребности человека и его возможности по их удовлетворению путем использования природных богатств были исключительно скромными и не выходили за рамки охоты, рыбной ловли и собирательства.

Потребности общества изменяются с развитием новых технических возможностей освоения природных богатств. Например, нефть была известна как горючее вещество еще за 600 лет до н. э., но в качестве сырья для топлива в промышленных масштабах ее стали использовать лишь в середине XIX в. Именно с тех пор нефть превратилась в реально доступный энергетический природный ресурс, значение которого неуклонно возрастало.

До середины XX в. нефть, залегающая в донных отложениях шельфа Мирового океана, не считалась ресурсом, ибо уровень развития техники не позволял производить ее добычу на шельфе. Лишь в 40-х годах XX в. в акваториях озера Маракайбо (Венесуэла) и Каспийского моря впервые началась промышленная разработка нефтяных залежей мелководья морей и океанов.

Исходя из первоочередности цели сохранить окружающую среду на нашей планете в неизменном, привычном человеку виде, следует особо отметить, что природными ресурсами для человечества являются абсолютно все ресурсы биосферы, а биота, обладающая мощнейшей средообразующей и средорегулирующей функцией, есть главный природный ресурс.

7.5.2. Классификация природных ресурсов

В зависимости от технического и технологического совершенства процессов извлечения и переработки природных ресурсов, экономической рентабельности, а также с учетом сведений об объемах природного сырья выделяют две категории природно-ресурсных запасов:

- *доступные (доказанные или реальные) запасы* — объемы природного ресурса, выявленные современными методами разведки, технически доступные и экономически рентабельные для освоения;
- *потенциальные (общие) ресурсы* — ресурсы, помимо доступных, установленные на основе теоретических расчетов и обследований, включая те, которые в настоящее время нельзя освоить по техническим или экономическим соображениям (например, залежи бурого угля на больших глубинах, запасы пресной воды в ледниках). Кроме того, потребности в природном ресурсе могут полностью блокироваться технологической невозможностью их освоения в наши дни, например, производство энергии на основе управляемого термоядерного синтеза. Поэтому потенциальные ресурсы образно называют «ресурсами будущего».

С развитием научно-технического прогресса потенциальные ресурсы переходят в категорию доступных.

Разработаны и применяются несколько классификаций природных ресурсов: по природному происхождению, по ви-

дам хозяйственного использования, по признаку исчерпаемости.

Классификация по происхождению. По указанному признаку природные ресурсы подразделяют на минеральные, климатические, водные, земельные, почвенные, биологические (растительные и животные). Эта классификация не отражает хозяйственной роли ресурсов и их экономического значения, поэтому чаще применяют классификацию по направлениям и формам использования.

Классификация по видам хозяйственного использования. В зависимости от отнесения к тому или иному сектору материального использования природные ресурсы подразделяют на ресурсы промышленного и сельскохозяйственного производства. Ресурсы промышленного производства включают в себя все виды сырья, используемого промышленностью: энергетические (горючие полезные ископаемые, гидроэнергоресурсы, биоконверсионная энергия, ядерная энергия) и неэнергетические (ресурсы металлургии, химии и нефтехимии, лесопереработки и т. п.).

Классификация по признаку исчерпаемости. По признаку исчерпаемости все природные ресурсы, как и ресурсы биосферы, подразделяют на исчерпаемые и неисчерпаемые[1] (рис. 7.29).

Неистощимость ресурса подразумевает его бесконечность, хотя бы в сравнении с потребностями в нем. Так, условно неисчерпаемым ресурсом для первобытных людей была, например, территория Земли. Однако поскольку сегодня численность человечества растет опасными темпами, а планета имеет совершенно конкретные конечные размеры, то возникли два очевидных ограничения:

- на ограниченной в целом Земле не может быть ничего бесконечного (часть не может быть больше целого), а следовательно, для человека нет неисчерпаемых природных ресурсов;
- экспоненциально растущая часть планеты — человечество со своими постоянно увеличивающимися потребностями легко исчерпывает ресурсы любой емкости.

Ресурсы, которые иногда еще кажутся неисчерпаемыми (например, поток солнечной энергии и иные мощные природ-

[1] При этом необходимо иметь в виду важное замечание Н. Ф. Реймерса о том, что выделить группу неисчерпаемых природных ресурсов можно лишь со значительными оговорками.

ные явления) по сравнению с энергопотреблением человечества (разница действительно велика; см. табл. 6.2) оказываются в действительности резко ограниченными из-за лимитов потребления.

Контрольные вопросы и задания

7.1. Дайте определение биосферы: какова ее структура?
7.2. Кто впервые ввел в науку термин «биосфера»?
7.3. Назовите основные оболочки Земли.
7.4. Каковы важнейшие аспекты учения В. И. Вернадского о биосфере?
7.5. Чем отличается земная кора от мантии и ядра?
7.6. Как отражается на развитии жизни на Земле нарушение равновесия O_2/CO_2?
7.7. Почему человек абсолютно зависим от жизнедеятельности и разнообразия других организмов?
7.8. Что такое ноосфера и почему возникло это понятие?
7.9. Возможно ли возникновение ноосферы в результате коэволюции человеческого общества и природной среды?
7.10. Что такое природные ресурсы?
7.11. Как классифицируются природные ресурсы?
7.12. Как формировалась кислородная атмосфера Земли?

ГЛАВА 8
ЧЕЛОВЕК В БИОСФЕРЕ

Представления о роли человечества в эволюции Земли, так же как и знания о влиянии экологических факторов на жизнь и здоровье отдельного человека, сложились в основном во второй половине XX в. (см. гл. 1). Базовым положением современного экологического мировоззрения является общность природы человека со всеми живыми существами Земли и необходимость сохранения современной биосферы для продолжения жизни человечества. Проблемы взаимодействия природы и общества рассматриваются в этой книге неоднократно (см. гл. 1, 7, 9, 10).

В настоящее время активно развиваются такие направления экологии, как экология человека и социальная экология. Первая изучает закономерности взаимодействия человеческих обществ с окружающей природной средой, а также зависимость здоровья и качества жизни человека от экологических факторов. Вторая посвящена динамике численности и особенностям размещения населения на земном шаре, перспективам развития **этносов**[1] и стран разных регионов Земли.

Развитие этих научных представлений имеет большое практическое значение для планирования дальнейших путей экономического и социального прогресса человечества, определения причин и возможных путей преодоления современного экологического кризиса. Правильное понимание места и роли человека в биосфере необходимо для перехода человечества к сбалансированному («устойчивому») развитию (см. разд. 10.8).

[1] Этнос — биосоциальное, эколого-социально-экономическое и историко-культурное единство значительной группы (популяции) людей, объективно составляющих и сознающих себя как единое целое и противопоставляющих свою общность другим подобным группам («мы» — «они»). Обычно для этноса характерна общность территории и языка.

Человек как биологический вид появился в биосфере сравнительно недавно, не более миллиона лет назад, и за столь короткий срок перестроил биосферу в соответствии со своими потребностями. Дальнейшая судьба человечества зависит от того, насколько оно сможет соотносить свое развитие с фундаментальными природными законами, определяющими существование всей биосферы.

8.1. Экология человека

8.1.1. Человек как биологический вид

Человек является биосоциальным существом и в то же самое время — представителем биологического вида «Человек разумный» *(Homo sapiens),* принадлежащего к царству животных, типу хордовых, классу млекопитающих, подклассу плацентарных, отряду приматов, семейству гоминид. Другие семейства, входящие в отряд приматов, — это понгиды — крупные человекообразные обезьяны (орангутаны, шимпанзе, гориллы) и хилобатиды — малые человекообразные обезьяны (гиббоны).

Характерной чертой, отличающей человека от животного, является прежде всего речь, способность к которой определяется развитием мозга, а также артикуляционного аппарата. Речь в свою очередь является средством коммуникации, планирования совместных действий и, что очень важно, концептуального мышления. Второе важнейшее отличие, связанное с первым, — это наличие крупного, сложного, хорошо развитого мозга, в котором увеличено (по сравнению с животными) не только количество нейронов, но главным образом межнейронных связей, т. е. усложнена организация всего мозга и прежде всего коры его больших полушарий.

Развитие мозга и руки дало возможность применять орудия труда. В свою очередь все эти изменения связаны со способностью к прямохождению и соответствующему изменению скелета и пропорций тела человека.

Еще человека отличает от животных абстрактное мышление, поэтому его иногда называют «животным, создающим символы». Слово для людей является не сигналом, как для животных, а понятием. Люди способны к планированию своих действий, словесной передаче опыта, к осознанию таких понятий, как «совесть», «вера», «красота». Кроме того, челове-

ку, в отличие от других видов животных, характерны иные темпы **онтогенеза**[1], а именно удлиненные периоды **эмбриогенеза**[2] и детства, периода обучения и экономической, а также физиологической зависимости от взрослых.

Появление человека в биосфере было предопределено около 4,0 млн лет назад[3], когда произошло отделение эволюционной ветви предков человека. Это, по-видимому, случилось в Африке. Человек же, подобный современному, так называемый «кроманьонский человек» появился в биосфере всего около 40 тыс. лет тому назад. Если представить всю историю жизни на Земле в масштабе суток, то можно сказать, что в природе человек появился всего за несколько секунд до полуночи. За этот краткий срок его биологические свойства не изменились, тогда как его бурная социокультурная эволюция изменила лик Земли, в итоге поставив природу под угрозу уничтожения.

Первые люди существовали под властью природы и в ее составе. Экологическая ниша этого вида определялась прежде всего его положением в трофических цепях. По своему положению в них человек является консументом (как и всякое животное он — гетеротроф, а по типу своего питания — полифаг, т. е. способен питаться пищей разного рода. Многие современные исследователи и врачи считают, что природой человек более всего предназначен и приспособлен к потреблению растительной пищи — зерновых и плодов. Сейчас он занимает положение на вершине трофических пирамид, питаясь различными видами пищи.

Несмотря на свои уникальные свойства (разум, членораздельная речь, трудовая деятельность, социальное поведение и др.), человек не лишился биологической сущности, и все законы экологии для него справедливы полностью, как и для любого другого живого организма.

Численность первых людей была невелика и контролировалась различными природными факторами согласно природной экологической нише: с одной стороны — хищниками,

[1] Онтогенез (от греч. *ontos* — сущее и *genos* — происхождение) — индивидуальное развитие особи, включая всю совокупность ее преобразований от зарождения до конца жизни, или «история индивидуальной жизни». Термин введен Э. Геккелем (1866).

[2] Эмбриогенез (от греч. *embryon* зародыш и *genos* — происхождение) — ранний период развития особи.

[3] Встречаются оценки от 4 до 8 млн лет, в частности, по расчетам С. П. Капицы, это произошло 4,5 млн лет назад.

паразитами, с другой стороны — конкурирующими видами человекообразных, внутривидовой борьбой. Кроме того, со временем численность человека регулировалась истощением кормовых ресурсов. По возможностям географического распространения *Homo sapiens* является *панойкуменным* видом, т. е. способен обитать на различных участках и в различных климатических зонах планеты, хотя как биологический вид человек может обитать только в пределах суши экваториального пояса (в тропиках и субтропиках) до высоты 3—3,5 км над уровнем моря.

Современный человек расширил границы местообитания: расселился во всех широтах, освоил глубины океана и космическое пространство. Однако за пределами первоначального ареала он может выжить не благодаря физиологической адаптации, а с помощью специальных защитных устройств и приспособлений (отапливаемые жилища, одежда, кислородные приборы и т. д.). Они имитируют среду обитания человека подобно тому, как это делается для экзотических животных и растений в зоопарках, ботанических садах, океанариях. Тем не менее в отдельных случаях все экологические факторы воспроизвести не удается, как, например, гравитацию в космическом полете, после которого космонавтам требуется реадаптация.

Выход человека из-под контроля среды начался примерно 10 тыс. лет назад, когда впервые появились признаки сельского хозяйства. Именно тогда люди перестали зависеть от ресурсной кормовой базы и начался постепенный рост их численности, больший, чем предусмотрено законами биосферы.

В XIX—XX вв. проявились признаки нового мирового демографического перехода — демографического взрыва. В 1960—1965 гг. человечество насчитывало 3,5 млрд человек, а к концу века эта цифра почти удвоилась, достигнув[1] 6 млрд. По прогнозам в 2007 г. нашей эры население планеты будет насчитывать 7 млрд человек.

Очевидно, что биосфера как единая биологическая система обладает соответствующей емкостью и при своих природных ресурсах способна прокормить лишь ограниченное количество людей. При этом численность народонаселения, которое биосфера может прокормить, зависит и от уровня потребления людей. Обычно считают, что уровень жизни человека опреде-

[1] По расчетам специализированных организаций ООН это произошло в октябре 1999 г.

ляется численностью населения страны, валовым национальным продуктом (экономическим развитием страны), а также экологическим сознанием, воспитанием и культурой, т. е. характером потребностей человека. Поэтому воздействовать на будущее нашего вида в биосфере возможно, не только влияя на численность народонаселения, но и изменяя сознание человечества и каждого человека в отдельности так, чтобы люди не стремились превысить некоторый разумный уровень потребления ресурсов биосферы и прежде всего энергетических ресурсов.

8.1.2. Полиморфизм[1] популяции человека

Биологи выделяют несколько подвидов человека — расы: европеоидная, австрало-негроидная, монголоидная и американоидная (американские индейцы).

Ряд исследователей разделяют австрало-негроидную расу на две: австралийскую и негроидную. Каждая из рас представляет собой морфофизиологический (структурно-функциональный) тип человека. Расы человека характеризуются определенным телосложением, биохимической конституцией (т. е. гормональным статусом, уровнем артериального давления, активностью ферментов), предрасположенностью или устойчивостью к определенным болезням, преобладанием некоторых психологических черт. Психофизиологический тип человека иногда называют конституцией. В каждой расе существует несколько типов конституций, при этом частота их встречаемости в известной мере связана с экологическими условиями проживания конкретной расы.

8.1.3. Среда обитания человека

Среду обитания человека так же, как и любого живого организма, можно подразделить на несколько условных типов:

- *информационная среда,* которую можно считать фильтратом внешних впечатлений, поступающих в мозг, которые зависят от видовых особенностей рецепторов, т. е.

[1] Полиморфизм (от греч. *polymorphe* — многообразный) — наличие в пределах одного вида резко отличных по облику особей, не имеющих переходных форм; частный случай — половой диморфизм.

органов чувств. Для человека понятие информационной среды усложняется по сравнению с животными на несколько порядков в связи с наличием большого количества видео- и словесной информации, т. е. того, что мы называем культурной средой;

- *минимальная среда,* т. е. наличие тех необходимых ресурсов, без которых невозможна сама жизнь;
- *физиологическая среда жизни,* т. е. минимальная среда плюс наличие условий обеспечения некоторых более сложных потребностей, которое человек, как и любой другой живой организм, получает из среды. Это, например, не просто питание, а полноценное питание или обеспечение потребности в движении и многое подобное;
- *экологическая среда* или непосредственная среда жизни (среда обитания каждого человека или группы людей) — самое широкое понятие. Она зависит от многообразных экологических связей с окружающими организмами, как непосредственно обеспечивающими потребности людей, так и с другими организмами Земли.

Таким образом,

II экологическая среда — это вся природная среда.

В свою очередь среда жизни каждого отдельного человека, окружающая его как в природных экосистемах, так и в условиях городского или сельского существования, также подразделяется на несколько видов:

- *собственно природная среда,* т. е. те природные экосистемы, в которых живет данная группа людей. Этот вид среды имеет свойство самоподдержания и саморегуляции. Человек ощущает энергетическое состояние среды, т. е. наличие определенных климатических условий, электромагнитных полей, атмосферные условия, водную компоненту среды, ландшафт, облик и состав биологического окружения. Кроме того, он находится под властью биологических ритмов, так или иначе связанных не только с общебиосферными, но и с космическими циклами;
- *агротехническая среда:* сельскохозяйственные угодья, культурные ландшафты, зеленые насаждения, постройки, бульвары, сады и т. п. Этот вид среды требует усилий человека по ее поддержанию, ибо это полуискусст-

венные агроэкосистемы. В городах и на производстве люди окружены полностью искусственной средой. Внутреннее пространство жилищ и производственных помещений, транспорт, культурно-архитектурная среда, среда вещей и прочее полностью созданы человеком и не могут без него существовать;

- *социальная среда,* в которой живет человек, его культурно-психологическое окружение, социум и та часть информационной среды, которая по своему происхождению связана с культурой, а не с природой.

Социальная среда вырастает из биологической среды (сообщество, этнос, семья и т. п.), но не может быть сведена к ней. Таким образом, социальная среда жизни человека — это следующий уровень организации живой материи. С позиций самого человека качество жизни и качество среды определяются его базовыми потребностями. Однако с позиций природы качество жизни человечества, включая возможность его выживания, помимо прочего определяется возможностями природы (т. е. биосферы), в том числе саморегуляции под воздействием антропогенных факторов, к которым относятся перенаселение (демографический взрыв), антропогенное загрязнение биосферы, а также исчерпание ее ресурсов.

8.1.4. Биологические потребности человека

Потребности человека делятся на несколько групп:

- элементарные потребности: пища, одежда, жилище, воздух,вода;
- вторичные потребности в конкретных вещах и условиях при возможности их выбора;
- псевдопотребности, т.е. потребности в предметах роскоши и следовании каким-то привычкам.

Различают также базовые и важнейшие биологические потребности человека, а также псевдопотребности.

Базовые биологические потребности. К ним, помимо пищи, воздуха, воды, одежды и жилища, можно отнести более сложные, но необходимые для человека условия:

- безопасность;
- тепловой, акустический, электромагнитный комфорт;
- состав воздуха, не приводящий к физиологическим или генетическим аномалиям и неприятным ощущениям;

- питьевая вода, не только не загрязненная и не угрожающая здоровью, но и приятная на вкус;
- сбалансированность питания, включая калорийность пищи, обеспечивающей энергетические потребности человеческого организма, а также наличие незаменимых элементов пищи, таких, как незаменимые аминокислоты, витамины, жиры, белки, углеводы;
- определенные вкусовые характеристики пищи и ее безвредность, т. е. экологическая чистота;
- продолжение рода и получение сексуального удовлетворения.

Важнейшие биологические потребности. К ним относятся:

- полноценный сон и отдых, т.е. релаксация;
- защита от заболеваний и антропогенных загрязнений;
- пространственный комфорт (определенное место в пространстве для каждого человеческого существа — жизнь без переуплотнения);
- комфорт природной (биогенной) среды, причем необходима именно та природная среда, к которой исторически адаптирована данная группа людей;
- ландшафтная природная среда (определенная высота над уровнем моря, наличие или отсутствие определенных ветров, диапазон колебаний температуры и влажности атмосферного воздуха и т. п.);
- подвижность и труд (гиподинамия — одна из базовых причин многих типичных болезней городского населения);
- информация, необходимая для здоровья и развития мозга (причем немаловажны и объем, и качество этой информации);
- биолого-социальный климат, т. е. определенное положение в иерархической структуре общества.

К естественным, эволюционно сложившимся потребностям относят и потребность в сопереживании, т. е. одной из эмоциональных основ поведения человека в социуме, а также наличие индивидуального участка в труде и жизни.

Из перечисленных потребностей видно, что многие из них на первый взгляд кажутся присущими лишь человеку, но на самом деле являются биологически обоснованными и эволюционно сложившимися. Поэтому они свойственны не только человеку, но и другим живым существам, особенно высшим животным, родственным человеку.

Осознание своих истинных потребностей очень важно для человека, ибо в соответствии с ним человек выстраивает свою субъективную систему ценностей. Когда эти ценности, а также представления об успехе в жизни и о комфорте опираются на естественные потребности и стремление к их реализации, тогда гарантирован успех не только в социальной, но и в личной жизни: ощущение счастья, комфорта и т. д.

Псевдопотребности. Если биологические потребности не реализуются, то они заменяются *псевдопотребностями,* например, в агрессии или лидерстве путем агрессии, либо в предметах роскоши. Подобная псевдокомпенсация в конечном счете ведет не только к асоциальному поведению человека, но также и к нарушению многих экологических законов, т. е. правил поведения человека в природе.

В физиологическом плане потребности человека и возможность их реализации тесно связаны с эмоциями, а эмоции в свою очередь являются очень важной составляющей мыслительного процесса — интеллектуальной деятельности человека. Эмоциональные мотивации нашей деятельности способствуют успеху обучения, запоминания, повышению работоспособности как физической, так и интеллектуальной. Отрицательный эмоциональный фон, связанный с невозможностью удовлетворить свои естественные потребности, ведет к постоянному стрессовому состоянию человека.

8.1.5. Экологические факторы и здоровье человека

Понимание здоровья у людей в разные времена существенно различалось. Существуют следующие основные концепции здоровья:

- общепринятой концепцией здоровья с древних времен и по наше время считается просто отсутствие болезней. Такое понимание здоровья бытует с начала нашей эры, и его можно встретить в работах и древних, и средневековых, и современных врачей;
- по биологическим представлениям здоровье — это способность организма сохранять гомеостатическое равновесие, т. е. устойчивость регуляционных систем организма;
- по определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) здоровье — это позитивное состояние, харак-

теризующее личность в целом, т. е. состояние физического, духовного и социального благополучия.

Одним из главных показателей и следствий здоровья населения является такой социально значимый фактор, как работоспособность.

Поскольку с биологических позиций здоровье представляет собой состояние гомеостатического равновесия, широкой адаптивности и резистентности, то современное понятие здоровья расширяется от узкого до более широкого понимания здоровья разных видов организмов, сообществ и даже экосистем.

Рассмотрим некоторые наиболее типичные патологические состояния и болезни человека. Прежде всего надо отметить, что патологическое состояние в каждом отдельном организме, у каждого отдельного человека возникает чаще всего не сразу, а путем накопления усталости, некомпенсированных стрессовых состояний, т. е. того, что в медицине часто называется состоянием «предболезни». Классифицируя болезни, их можно разделить на несколько основных групп.

Наследственные болезни. Первая группа — это наследственные заболевания, возникающие у носителей мутантных генов. При простом (менделевском) наследовании это наличие одного мутантного гена. Примерами таких болезней, которые вызваны мутациями (генными или хромосомными), являются синдром Дауна, появляющийся вследствие нарушений хромосомного набора, а также фенилкетонурия — болезнь обмена веществ, следствие генной мутации, грозящая ребенку умственной отсталостью, если он с самого рождения не получает особое (диетическое) питание. Генные мутации — причина таких болезней, как, например, опухоль сетчатки (ретинобластома) и гемофилия.

Часто встречается наследственная предрасположенность к болезням как результат полигенного наследования: к язвенным и сердечно-сосудистым заболеваниям, сахарному диабету, различным видам аллергий.

Наследственные болезни в значительной степени связаны с условиями окружающей человека среды. В частности, мутации могут появиться в организме не только самопроизвольно, но и под действием определенных факторов среды, называемых *мутагенными.* Главным мутагенным фактором среды являются ионизирующие излучения (радиация). Выявлен ряд химических мутагенов, поступающих в окружающую природную среду от многих химических производств. Мутагенное

действие оказывает и ряд вирусных заболеваний, делающих более изменчивой наследственность отдельного человека и вызывающих наследственные предрасположения к патологиям.

Экопатологии. Это болезни, вызванные факторами среды. Прежде всего, это «болезни образа жизни», связанные преимущественно с недостаточностью или с избыточностью питания. При недостаточном питании содержание витаминов, микроэлементов, белков в пище ниже нормы, что приводит к тяжелым нарушениям здоровья. При избыточном питании развивается ожирение, которое ведет к таким тяжелым патологиям, как диабет, рак, сердечно-сосудистые болезни. Поэтому избыток или дисбаланс питания играет не менее губительную роль, чем его недостаток.

Важный патогенный фактор — избыток рафинированной пищи, потребляемой населением экономически развитых стран, особенно жителями городов. Излишнее потребление животных жиров, сахара, различных консервов, колбас, копченостей — все это способствует возникновению ряда системных болезней как пищеварения, так и всего организма в целом.

Среда обитания человека также является источником «стрессорных» воздействий. Это прежде всего факторы воздействия физического и химического стрессов. Факторы физического стресса связаны с нарушениями светового, акустического или вибрационного режима, а также уровня электромагнитных излучений. Как правило, отклонение от норм этих факторов характерно для городской или производственной среды, где чаще всего и в наибольшей степени нарушаются условия, к которым эволюционно адаптирован человеческий организм. Факторы химического стресса чрезвычайно многообразны. В последние годы синтезировано более 7 тыс. различных веществ, ранее чуждых для биосферы, — **ксенобиотиков** (от греч. *xenos* — чужой и *biote* — жизнь). Редуценты в естественных экосистемах не справляются с таким количеством чуждых веществ, для разложения которых в природе не существует специализированных биохимических механизмов, поэтому ксенобиотики представляют собой опасный вид загрязнений. Организм человека также не справляется с этими чужеродными искусственными веществами, ибо не имеет средств их детоксикации.

Помимо физических и химических стрессов, на человека в современном мире воздействуют стрессы перенаселения, характерные для больших городов. Он попадает в многочисленные психологические стрессовые ситуации напряженной соци-

альной жизни. При этом важно, что человек сталкивается со стрессорными факторами не только в реальных ситуациях, но и в виртуальных, возникающих от избытка информации, поступающей благодаря телевидению, радио, при использовании персональных компьютеров. И наконец, сам характер (содержание) поступающей информации часто приводит организм человека к стрессовым состояниям.

Понятие «стресс» было введено в медицину и в физиологию Г. Селье в 30-х годах XX века, который рассматривал стресс как неспецифическую реакцию человеческого организма, возникающую в ответ на повышенные требования среды, и дал ей определение «адаптационный синдром». Такое определение приемлемо для стрессов, вызванных самыми различными причинами, и характеризует механизмы адаптации разнообразных живых систем. Стресс как у животных, так и у человека является неспецифической нейрогуморальной[1] реакцией организма, осуществляемой путем мобилизации нервной и гуморальной систем для адаптации к предъявленным требованиям среды. Состояние стресса — важнейший фактор регулирования размножения всех живых существ, т.е. фактор регулирования численности популяций. Различают несколько фаз стресса.

- Первая фаза — фаза тревоги или мобилизации, когда нервная система, точнее рецепторы, воспринимают сигналы из внешней среды, а нервные центры, оценив их значимость, передают команду гуморальной системе. После сложной цепи взаимодействий выделяются «гормоны стресса» — главным образом это гормоны надпочечников.
- Вторая фаза — фаза сопротивления, в которую далее вступает организм, когда под влиянием гормонов стресса все органы и системы организма начинают работать в режиме повышенной активности.
- Третья фаза может протекать различными путями. Если организм справился со стрессовыми воздействиями и вышел на более высокий уровень адаптивности, то это — фаза компенсации (эустресс). Повторяющиеся эустрес-

[1] Гуморальная регуляция (от лат. *humor* — жидкость) — один из механизмов координации процессов жизнедеятельности, осуществляемый через жидкие среды организма (кровь, лимфу, тканевую жидкость) с помощью биологически активных веществ, среди которых важную роль играют гормоны.

сы с возрастающей нагрузкой ведут к *реакции тренировки* и к большей адаптированности организма. Преодоленный стресс выводит человеческий организм на новый, более высокий уровень толерантности.

Если возникает истощение организма, зачастую приводящее к болезни или даже к смерти, — это истощающий стресс (дистресс). Исход стресса зависит не только от характера и силы воздействия вызвавшего его фактора, но также и от исходного физиологического состояния организма. Чем более организм устойчив (здоров и адаптивен), чем лучше все его системы сохраняют гомеостатическое равновесие, тем больше шансов на благоприятный исход стресса.

Природноочаговые заболевания (эндемические). Другой большой группой экопатологий, т. е. болезней, связанных с неблагоприятной средой, являются природноочаговые заболевания. Они вызваны тем, что человек живет либо в местности, где обитают возбудители какой-либо болезни (например, клещевого энцефалита, переносимого клещами), либо в районе земного шара, имеющем геохимические или геофизические особенности.

Особенности биогеохимических провинций — крупных территорий, характеризующихся специфическими особенностями состава биосреды, влияют на здоровье людей, а также на видовой состав биоты. Особые биогеохимические провинции могут характеризоваться: вулканической и флюидной активностью геосферы; аномалиями физических полей Земли; тектоническими явлениями; явлениями выветривания или разрушения горных пород; особенностями поступающего солнечного излучения и биогеохимических реакций; особым режимом изменения температуры, выпадения осадков, активности ветров. Все это влияет на почвообразование, растительный покров, а также на здоровье людей.

Примерами биогеохимических провинций являются внутренняя Монголия, бассейны рек Ху-бао и Желтой. Эти местности обогащены мышьяком, фтором, ионами хлора и сульфат-ионами, углеводородами, органическими веществами. Характерные эндемические болезни, возникающие в этих районах, — отравление мышьяком, флюороз и диарея. В Китае есть районы, в которых воды и почвы обогащены хромом, никелем и ванадием. У людей в этих районах очень часто встречается рак желудка. Существуют значительные территории, где воды обогащены фтором. Там распространен зубной и костный флюороз. На земном шаре немало мест, где отмечается недостаток йода, и там

эндемическими заболеваниями являются заболевания щитовидной железы и кретинизм. Избыток селена в окружающей среде ведет к отравлениям и зачастую к раку легких, тогда как его недостаток приводит к появлению болезни Кешана.

На территории России избыток стронция на фоне недостатка кальция, а также интоксикация фосфором и марганцем характерны для Восточной Сибири. В этом случае возникает так называемая «уровская» болезнь, т. е. артроз одновременно с деформирующим остеохондрозом. В Карело-Кольском регионе при значительном недостатке фтора и йода в водах и почве наблюдаются повышенная заболеваемость кариесом и нарушения функции щитовидной железы. В бассейне реки Волга, особенно в Мордовии, где имеется избыток фтора, чаще, чем в других местах, встречается флюороз.

Локальные участки поверхности Земли, имеющие аномалии физических полей, называются *геопатогенными зонами*. С ними связано явление «геопатогенного стресса», вызывающего учащенный пульс, повышенное артериальное давление, бессонницу, кошмары, раннюю смертность. Эти явления встречаются в местах, где выявлены разломы литосферы, поэтому их часто связывают с наличием радона, который через разломы выходит на поверхность из недр Земли. Известно геопатогенное влияния на людей, оказываемое в сейсмоопасных районах, особенно перед землетрясением. Именно там возникают мощные аномалии физических полей Земли, служащие причиной биохимических сдвигов в организме человека, а также изменений в поведении животных. У людей в таких местах возникает депрессия, изменяется формула крови, часто возникают приступы сердечной недостаточности.

Значительный вклад в данные по геопатологии внесен научной школой гелиобиологии, основанной А. Л. Чижевским, который впервые показал основополагающее влияние солнечной активности на различные биосферные процессы, в том числе и на изменение патогенности возбудителей различных заболеваний. Солнечная активность играет большую роль в изменениях геомагнитной обстановки на Земле. Прогнозы, построенные на основании изучения периодичности активности Солнца, имеют очень важное экологическое и медицинское значение.

Болезни старения. Крупная группа болезней и патологических состояний человека связана с возрастными изменениями. Это так называемые болезни старения: ожирение, рак, диабет, гипертония — синдромы, связанные не только с возрастом, но и с экологическими факторами. Понятие биологического воз-

раста отражает определенный комплекс морфофункциональных изменений организма, простым показателем которых являются работоспособность и адаптивность человека, его функциональная активность. Возрастные изменения наступают у каждого отдельного человека не только в соответствии с его астрономическим возрастом, но также в зависимости от факторов окружающей среды. Все экопатологии ведут к преждевременному старению, что особенно хорошо видно в местах экологических бедствий, экологических катастроф, в местах, где отмечены геопатологические явления.

8.1.6. Защитные системы организма человека

Организм человека имеет ряд защитных систем, которые противостоят неблагоприятным воздействиям внешней среды, поэтому при различных экопатологиях поражаются в первую очередь.

Первой защитной системой являются *кожные покровы,* а также слизистые оболочки легких и пищеварительного тракта. Через них поступают различные вредные вещества, растворенные в воде или просто находящиеся в атмосферном воздухе. Для территорий с повышенным химическим загрязнением характерны различные типы легочных заболеваний, заболеваний верхних дыхательных путей, а также разнообразные кожные болезни.

Второй защитной системой организма является *печень,* обладающая способностью детоксикации вредных веществ (и даже ядов), попавших в организм вместе с пищей. Если печень человека оказывается перегруженной токсическими веществами, то возникают такие тяжелые болезни, как цирроз и онкологические заболевания.

Главной защитной системой, предназначенной для защиты целостности и здоровья организма, является *иммунная система.* Она включает процессы и средства клеточной и гуморальной защиты от бактериальных загрязнений внешней среды и чужеродных белков, т. е. от попавших в организм бактерий и прочих возбудителей заболеваний биологического происхождения. В случае, когда иммунная система испытывает экологический стресс, ее работа нарушается.

Заболевания иммунной системы очень характерны для нашего времени. Первая стадия таких заболеваний связана с ее

гиперчувствительностью, приводящей к различным типам аллергий. Вторая стадия обусловлена иммунодефицитом — истощением иммунной системы, которое ведет к тому, что организм катастрофически теряет сопротивляемость к любым болезням и поражениям. Чувствительность человеческого организма к агрессии окружающей среды зависит также и от его возрастных особенностей.

8.1.7. Онтогенез человека, или этапы индивидуальной жизни

Онтогенез человека делится на несколько крупных периодов, которые свойственны развитию всех многоклеточных существ и особенно высших животных, сходных с человеком.

Прежде всего это *эмбриогенез,* т. е. тот период развития, который проходит у человека в утробе матери под защитой специального барьерного органа — плаценты. В свою очередь эмбриогенез, длящийся 9 мес, состоит из нескольких принципиальных этапов. Первый этап связан с оплодотворением, т. е. с самим фактом встречи родительских половых клеток. В это время зародышевые клетки подвержены влиянию естественного отбора, так как далеко не все родительские клетки способны к дальнейшему развитию. Второй этап, с которого начинается эмбриогенез, — это превращение одной клетки — оплодотворенного яйца — в многоклеточный организм (дробление). Третий этап связан с началом дифференциации (специализации) клеток в организме и знаменуется появлением в нем трех первичных типов тканей. При этом в зародыше происходит перемещение клеточных пластов, а затем начинается этап органогенеза, т. е. закладка и образование различных органов и систем организма, характеризуемый сложными явлениями дифференциации клеток и объединением их в структуры. К двум месяцам развития складывается защитная система материнского организма — плацента, которая в дальнейшем и питает, и защищает развивающийся плод. В остальные семь месяцев развития человека под защитой плаценты его органы приобретают функциональную активность и быстро растут.

Значительным и драматичным для человеческого организма является *появление на свет,* т. е. роды. Этот период также подвержен действию естественного отбора: не все зародыши благополучно доходят до конца эмбриогенеза и благополучно рождаются на свет. Далее наступает *период детства,* первым

этапом которого является грудное вскармливание, когда в течение года особенно важным для человека является фактор питания. За это время происходят большие изменения в нервной системе, созревают рецепторные системы (органы чувств), у ребенка закладывается интуитивный образ мира.

Следующий этап детства продолжается до шести-семи лет, когда окончательно созревает нервная система и вместе с ней способность к познанию окружающего мира. Увеличивается количество извилин в коре больших полушарий головного мозга, ребенок активно обучается, у него созревают условнорефлекторные связи, т. е. в нервных связях запечатлевается жизненный опыт. Период детства сменяется препубертатным периодом, когда начинается и постепенно на протяжении нескольких лет происходит созревание эндокринной системы, завершающееся наступлением *юношеского периода,* когда у подростка созревает репродуктивная система и половые гормоны включаются в эндокринную систему регуляции организма. Таким образом, нервная система и эндокринная система, т. е. две координирующие системы организма, окончательно созревают уже после рождения ребенка.

Все эти сложные процессы роста и созревания завершаются в среднем к 18 годам у женщин и к 20—21 году у мужчин, после чего следует длительный *репродуктивный период* — период мощной и согласованной работы всех систем организма. Это период воспроизведения, размножения и наивысшей работоспособности человеческого организма во всех отношениях.

После завершения репродуктивного периода (у женщин к 45—50 годам, у мужчин — несколько позже) начинается переход к периоду старения, в котором принято выделять несколько стадий: *климакс, пожилой возраст* и *долгожительство,* начинающееся в наше время после 90 лет.

Созревание, согласованная работа и последующее старение у людей различных рас приходятся на несколько разный астрономический возраст. Вместе с тем возрастные характеристики связаны с состоянием окружающей человека среды. Ряд факторов среды обитания способствуют как более раннему созреванию, так и более раннему старению человеческого организма.

В онтогенезе человека, как и других живых существ, выделяют некоторые моменты, которые принято называть «критическими», т. е. наиболее чувствительными к повреждающим факторам и условиям среды. Так, первый период онтогенеза, связанный с оплодотворением, размножением, перемещением клеток, органогенезом, безусловно, является критическим. Также и пос-

ле рождения переход от каждого очередного периода онтогенеза к последующему связан с изменениями в управляющих системах организма, следовательно, является критическим.

Все эти «чувствительные точки» являются возрастными мишенями для действия стрессорных факторов окружающей среды. По данным медицинской статистики соответствующие возрастные группы людей характеризуются повышенной заболеваемостью и смертностью.

Человеческая популяция, для того чтобы воспроизводиться полноценно, должна подвергаться воздействию фильтра — естественного отбора, который отметает, приводит к гибели наименее жизнеспособные особи. Наиболее результативно действие естественного отбора происходит именно в те моменты, которые были названы критическими периодами. В частности, из всех оплодотворенных яйцеклеток у человека до конца эмбрионального периода доходит не больше половины. Подверженными влиянию естественного отбора оказываются зародыши, несущие какие-либо летальные гены, а также те или иные уродства.

Детеныши, больные из-за мутантных генов (хромосомных изменений), а также в результате нарушений развития в течение эмбриогенеза, нежизнеспособны в условиях дикой природы и, скорее всего, были бы ею «отбракованы». Однако развитие медицины и общее повышение уровня жизни человека, особенно в XIX и XX вв., вывело человеческую популяцию из-под влияния естественного отбора, и поэтому у человечества накопился достаточно значительный генетический груз. В наше время известно более двух тысяч наследственных болезней человека, вызванных различными мутациями.

С другой стороны, если родительские клетки не содержат мутантных генов, но в течение эмбриогенеза происходят какие-либо нарушения развития, то зародыш превращается в неполноценного, «дефектного» ребенка. Вещества, вызывающие нарушения эмбрионального развития и приводящие к возникновению уродств, называются *тератогенами,* а соответствующий эффект — *тератогенным.*

Если уродства возникают в течение эмбриогенеза, то в природе такие маленькие человеческие существа были бы нежизнеспособны. Однако современная медицина позволяет им выжить. Такие люди, несущие уродства или мутантные гены, иногда могут давать потомство, тем самым отягощая генетический груз человечества.

Все это привело к тому, что в настоящее время до 30% новорожденных имеют те или иные отклонения либо в строении,

либо в функциональной деятельности различных систем организма, причем до 10% из них могут обладать значительными отклонениями в своей морфологии, т.е. уродствами.

Следовательно, экологическая агрессия воздействует на различные системы, функции формирования и развития человека. Основными мишенями воздействия агрессивных факторов среды являются: генетический аппарат, репродуктивная функция и иммунная система.

Генетический аппарат. Воздействие непосредственно на генетический аппарат — гены, хромосомы, ДНК половых клеток приводит к мутагенному эффекту, что^. характерно для радиационного воздействия. ″

Канцерогенный эффект может возникать, когда различные изменения в ДНК происходят не в половых, а в других клетках организма. При этом трансформация различных тканей и клеток в опухолевые может происходить под влиянием не только радиации, но и ряда химических веществ.

Токсические воздействия могут вызвать тератогенный эффект, т. е. возникновение уродства у плода вследствие нарушений в процессе развития, или же эмбриотоксический эффект, т. е. врожденные изменения и болезни, не связанные с появлением уродств, но ведущие к тяжелым функциональным поражениям, например, нервной системы. Они часто вызываются алкоголем и вирусными заболеваниями.

Репродуктивная функция. В результате действия различных повреждающих факторов среды может нарушаться также репродуктивная функция мужчин и женщин. Так, в Москве в настоящее время на 50% выросло количество бесплодных мужчин и значительно увеличилось количество страдающих бесплодием женщин. Изменения в репродуктивной функции связаны не только с химическим воздействием на половые железы, но также могут быть и результатом стресса, недостаточности или извращения питания, а также следствием повреждений на различных этапах матричного синтеза в клетках, вызываемых некоторыми антибиотиками и лекарственными препаратами.

Иммунная система. Мишенью действия токсичной среды является также иммунная система, чувствительность которой повышается при действии пестицидов, промышленной пыли и других техногенных факторов.

Метаболизм. Метаболизм человека — важная мишень токсического влияния техногенной среды. Прежде всего происхо-

дит поражение печени тяжелыми металлами, алкоголем, инфекционной патологией, некоторыми вирусами.

Нервная система. Нервная система — серьезная мишень техногенного воздействия. Воздействие на центральную нервную систему ведет к болезням, которые называют неврозами, а также страдает вегетативная нервная система и рецепторы. В частности, рецепторы (органы чувств человека) могут сильно повреждаться такими факторами среды, как изменение светового режима, вибрации, шумовые перегрузки и др.

Воздействие **стрессоров**[1] на человека вызывает эффект напряжения и перенапряжения и может привести к дистрессу. В зависимости от исходного состояния человека при дистрессе возможны самые разнообразные последствия.

Желудочно-кишечный **тракт.** Мишенью агрессивного действия среды является микрофлора, на которую воздействуют различные отравляющие вещества, содержащиеся непосредственно в пище или в воде, в результате чего возникает очень тяжелая и достаточно распространенная в наше время болезнь — дисбактериоз.

8.1.8. Адаптация к экстремальным условиям

Вид *Homo sapiens* характеризуется широкими способностями к адаптации и полиморфизмом (разнообразием в проявлении внешних признаков). Это позволило людям расселиться по всему земному шару, освоив различные климатические зоны, географо-биологические условия и приспособившись к различным **диетам**[2].

С генетических позиций это означает, что человек обладает широкой «нормой реакции» многих генетических свойств. Автор концепции «нормы реакции» (Ф. Добржанский) определил ее как «полный спектр, весь репертуар различных путей развития, которые могут выявиться у носителей данного генотипа в любой среде».

Природные экосистемы, в которых живут отдельные популяции людей, многообразны. Исторически сложившиеся популяции, приспособленные к определенным природным условиям, условно называют экотипами. Представители различных

[1] Стрессоры — разнообразные факторы, вызывающие стресс.

[2] Диета (от греч. *diaita* — образ жизни, режим) — определенный режим питания.

экотипов отличаются телосложением, типом лицевого скелета, цветом кожи и волос, пищевыми адаптациями и энергетическим балансом, иммунитетом к определенным заболеваниям, а также скоростью роста и развития. Резкая перемена условий обитания для представителей любого экотипа означает стрессовую, а часто даже экстремальную ситуацию. Наиболее крупные адаптивные типы (экотипы): арктический, тропический, аридный (обитатели пустынь), высокогорный, средиземноморский, среднеевропейский.

Типы географо-биологической среды обитания, определяющие экотипы человека, соответствуют основным климатическим зонам. Для каждого типа среды обитания, как правило, характерен определенный тип хозяйственного уклада людей. Наибольшая населенность, развитие городов, современный уклад жизни и хозяйства более всего характерны для зон смешанных лесов умеренного климатического пояса, а также для зоны тропических лесов и степей. В этих зонах сосредоточено 79% населения Земли. Еще 12% людей обитают в горных районах, а остальные климатические зоны заселены слабо. Возникновению древнейших цивилизаций на Ближнем Востоке способствовал комплекс благоприятных экологических условий, а именно: обилие воды, плодородные почвы, речные транспортные пути, благоприятный климат в долинах рек Египта и Месопотамии.

Экстремальными условиями для отдельного человека являются любые резкие изменения в образе жизни, а *опасными для жизни* — условия, адаптация к которым невозможна (т. е. выходит за пределы физиологической толерантности, видовой генетической нормы реакции). Причем адаптационные возможности организма человека определяются не только физиологическими, но и социальными условиями и факторами. Наиболее комплексный показатель индивидуальной адаптации человека к условиям среды — его работоспособность и общий жизненный тонус, которые отражают сложные взаимодействия гормонального статуса, состояния нервной, иммунной и других физиологических систем организма, а также и свойства личности (т. е. совокупности социальных, интеллектуальных, эмоциональных и духовных черт человека).

Экстремальные ситуации, связанные с питанием и энергетическим обменом. Энергия, получаемая человеком из пищи, необходима для поддержания обмена веществ, в том числе для поддержания постоянной температуры тела в состоянии покоя или *основного обмена,* а также для всех видов деятель-

ности, роста и размножения. Регулирование общего энергетического баланса взрослого человека, исключающее резкие колебания веса тела, осуществляется нервной и эндокринной системами. Пользуясь специальными таблицами, можно для разных видов деятельности и с учетом возраста рассчитать необходимый расход энергии, в соответствии с которым составить пищевой **рацион**[1].

Далее в нем следует сбалансировать содержание белков, жиров, углеводов, витаминов и микроэлементов, а также воды.

Основной обмен энергии взрослого человека составляет около **300** кДж/ч, энергетические затраты горожанина при обычной деятельности — около 450 кДж/ч, а при тяжелой работе — до **2000** к Дж/ч. **В** среднем энергетические траты человека принимают равными **8500**—12 **500** кДж/сут. В примитивных обществах в связи с тяжелым трудом и большей зависимостью от внешних температурных условий затраты энергии у людей выше.

Болезни, связанные с различными видами недостаточности питания, распределены на земном шаре по зонам. Там, где в избытке потребляются углеводы и в пище недостаточно белков, наблюдается болезнь квашиоркор (белковое голодание). Общий недостаток калорийности пищи зачастую ведет к слабоумию (маразму). В некоторых районах Земли часты заболевания щитовидной железы, связанные с недостатком в природной среде йода. Авитаминоз А и связанные с ним нарушения зрения и болезни кожи возникают при недостатке в рационе жиров. Недостаточность витаминов группы В — причина тяжелых заболеваний нервной системы, а витамина С — причина снижения иммунитета и цинги. Недостаток никотиновой кислоты вызывает пеллагру. В целом выделяют три группы сообществ людей, которым преимущественно характерны:

1) белковая диета — сообщества охотников и пастухов;
2) углеводная диета — сообщества земледельцев;
3) смешанная диета — цивилизованные сообщества.

Первой группе сообществ присущи болезни, связанные с недостатком углеводов и ряда микроэлементов, второй группе — авитаминозы, связанные с однообразием растительной пищи (преобладанием какой-либо зерновой культуры и недостатком зелени и фруктов), а также белковое голодание и общее истощение из-за низкой калорийности пищи. Современные горо-

Рацион (от лат. *ratio* — расчет, мера) — суточная норма, порция пищи определенного состава на известный срок.

жане страдают болезнями от избытка калорийности, несбалансированности питания, недостатка овощей, фруктов и других видов свежих натуральных (неконсервированных) продуктов. Естественные для названных групп людей различия в росте, телосложении и весе также во многом определяются особенностями питания.

Климатическая адаптация. Определенная доля энергии затрачивается организмом человека на поддержание постоянства температуры тела. В отличие от других теплокровных животных человек дополнительно использует культурные и социальные приспособления: жилье, одежду, системы отопления, вентиляции, кондиционирования и т. д. Благодаря этому сообщества человека успешно выживают в экстремальных климатических условиях.

Способность людей разных экотипов к акклиматизации (длительной адаптации) к высоким и низким температурам различна. В среднем акклиматизация к теплу происходит быстрее, чем к холоду, так как связана со скоростью изменения основного обмена. Акклиматизация к холоду зависит от питания, в частности, от содержания в диете белков и жиров. При этом у людей, как и у животных, образуется подкожный жировой теплоизолирующий слой.

Изучение температурных границ организма человека при выполнении различных видов квалифицированной работы показало, что при достижении верхней границы температурного оптимума для человека (27—28 °С) эффективность работы снижается, а число ошибок возрастает. При более высокой температуре нарушается сон. Нижней границей температурного оптимума является +18 °С. Установлено, что при температуре ниже +13 °С несчастные случаи на производстве происходят на 34% чаще, чем при +18 °С.

8.2. Экология человечества

8.2.1. Популяционные характеристики

Человечество, как и всякую популяцию живых организмов, характеризуют статистические характеристики (численность, плотность, пространственная структура, половой и возрастной состав), а также динамические характеристики (рождаемость, смертность, миграционная активность, скорость роста, продолжительность жизни, кривые выживания).

Для человеческой популяции также существуют лимитирующие факторы. С одной стороны, это — ограничения распространения популяции в пространстве, а с другой стороны, — лимиты и регуляция численности населения.

За время своего существования человечество прошло путь от популяции первобытных людей, зависимых от природы и находящихся под прессом естественного отбора, до современного человечества, обладающего всеми средствами медицины и технологической цивилизации; при этом и численность, и лимитирующие ее факторы также претерпели значительные изменения.

Численность популяций древнего человека в досельскохозяйственную эпоху подвергалась регулированию (см. разд. 5.1) «сверху» — хищниками и паразитами, «со стороны» — конкурирующими видами, «изнутри» — каннибализмом, войнами, инфантицидом (умерщвлением детей) и, наконец, «снизу» — истощением ресурсов. По мере развития цивилизации все большее значение для регуляции численности человечества приобретает фактор истощения ресурсов.

8.2.1.1. Особенности пространственной структуры. Урбанизация

Первые популяции людей на Земле, жившие собирательством и охотой, были более или менее равномерно распределены в пространстве. Они представляли собой группы людей, разбросанные между широтами северной Африки и южной Европы. Затем постепенно, в Средние века, начался процесс **урбанизации**[1]**,** который особенно интенсивно идет в наше время.

Если до 1900 г. в городах жило всего около 14% населения, то в конце XX в. массовая урбанизация стала определять характер распределения человеческой популяции на Земле. При этом существенную роль играют три демографических процесса: миграция из сельских районов в город; естественный прирост городского населения; превращение сельских районов в города.

В наши дни в городах живет примерно половина населения Земли (рис. 8.1). При сохранении таких демографических тенденций в ближайшие годы число горожан в мире удвоится через 20—30 лет. Рост городов в настоящее время характерен преимущественно для стран третьего мира (три из пяти горо-

[1] Урбанизация (от лат. urbanus — городской) — процесс сосредоточения населения и экономической жизни в крупных городах.

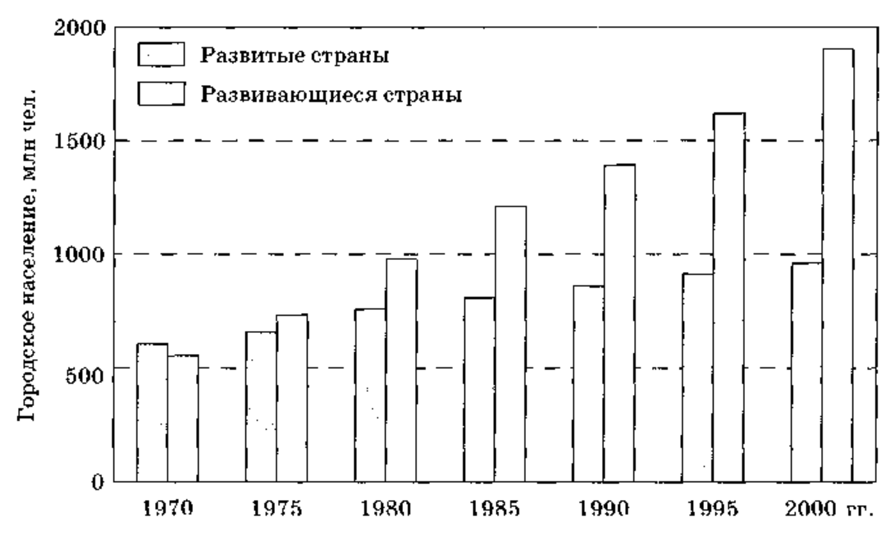


Рис. 8.1. Рост городского населения в конце XX в. по данным UNDP (см. разд. 10.7.2)

дов с населением около 15 млн чел. находятся в развивающихся странах). Только очень небольшая часть человечества заселяет многочисленные северные и экваториальные земли, где плотность населения гораздо меньше.

Урбанизация вызывает следующие проблемы:

- изменения в природных экосистемах;
- изменения в образе жизни, здоровье и психологии человека;
- региональные геоэкологические проблемы (например, изменение климата).

Зависимость городов от обеспечения извне продовольствием, водой, энергоресурсами, необходимость систематического изъятия отходов, рекультивации земель, организации рекреационных зеленых зон как с целью очищения воздушных и водных масс, так и с целью организации оздоровления и отдыха горожан постоянно увеличивается.

В последние десятилетия из-за роста уровня загрязненности городской среды сложилась тенденция «расползания» городов и образования **мегаполисов**[1], выражающаяся в образовании кольца спальных районов в зеленой зоне и в развитии

[1] Мегаполис или мега(ло)полис (от греч. *megas* — большой и *polls* — город) — «сверхгород», гигантский город, образовавшийся в результате роста и фактического слияния многих городов и населенных пунктов.

«челночного» автотранспорта, доставляющего горожан к местам работы в центре и обратно. Все это ведет к усилению загрязнения и разрушения природных экосистем.

Мегаполисы представляют собой искусственную среду обитания человека, имеющую свои особые лимитирующие факторы в развитии и росте человеческой популяции. Современный город является неустойчивой экосистемой с преобладанием гетеротрофных звеньев пищевых цепей. Городская среда для поддержания экосистемы нуждается в постоянной заботе человека. Животный мир города достаточно разнообразен, однако не является природным зооценозом и не имеет способности к саморегуляции.

Животные города представлены в основном синантропными видами: крысами, мышами, тараканами, воронами, одичавшими кошками и собаками, э. тэ.к2к6 разнообразными домашними животными. На окраинах города прикармливают и таких животных, как белки, зайцы, лисы, многие виды птиц. Почвенные биоценозы города сильно загрязнены, почвы переуплотнены, неплодородны, нуждаются в рекультивации.

Стихийное развитие городов также таит в себе много опасностей и для горожан, ибо до последнего времени планирование городского хозяйства велось без учета экологических факторов и их влияния на здоровье и благополучие человека. Большинство проблем, связанных с экологией человека в городе, имеют санитарно-гигиенические, социальные и психологические корни, так или иначе связанные с перенаселением и всеми видами загрязнения среды обитания. Городская среда, с одной стороны, предоставляя человеку комфорт, лишает его необходимых факторов физиологической тренировки, а с другой стороны, она щедра на стрессовые воздействия. Химические, физические, социально-психологические, информационные стрессы создают постоянный источник опасности для физического и психического благополучия современного горожанина.

Рассматривая комплекс проблем, связанных с урбанизацией и прогнозом развития человечества, С П . Курдюмов и С. П. Капица предложили математическую модель, по которой определили оптимальную величину населения города — 300 тыс. чел. В результате они пришли к выводу, что одним из условий выживания человечества должно быть его рассредоточение по Земле.

Вблизи города, помимо сельскохозяйственных территорий, должны создаваться **рекреационные**[1] зеленые зоны для

[1] Рекреация — отдых, восстановление сил, потраченных в процессе труда.

спорта и отдыха людей, а также заповедные участки нетронутой природы. Необходимое условие здоровой городской среды — большое количество зеленых насаждений. Важнейшее значение имеет также рациональное управление отходами.

8.2.1.2. Развитые и развивающиеся страны

Современному миру характерно огромное экономическое неравенство людей, живущих на планете. На рис. 8.2 приведена диаграмма распределения доходов в мире, при построении которой все население Земли сгруппировано по величине доходов и разделено на пять равных частей. На диаграмме показано, что 20% самых богатых людей обладают 82,7% мирового богатства, а 20% самых бедных людей — лишь 1,4%

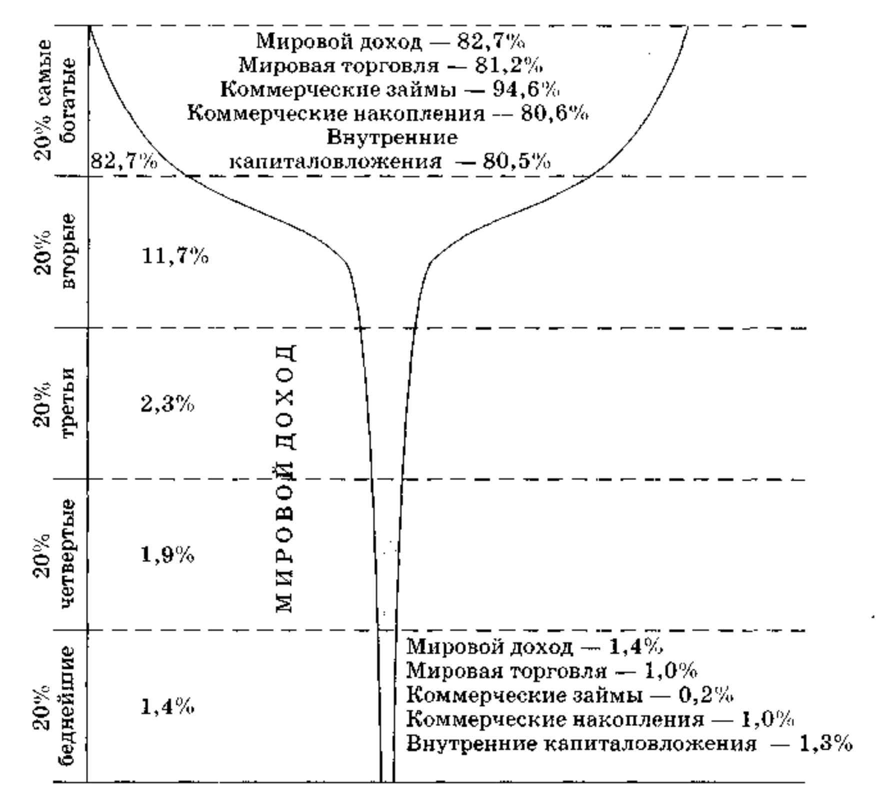


Рис. 8.2. Распределение доходов и экономическое неравенство в мире по данным UNDP (United Nations Development Program) — программы ООН по развитию

мирового богатства. Различие значительно, и оно продолжает экспоненциально увеличиваться.

Социальная стратификация людей в конце второго тысячелетия сопровождается столь же резким делением государств на две большие группы, которые развиваются и растут по различным законам — это экономически развитые и развивающиеся страны, условно называемые в документах ООН странами Севера и Юга.

В странах с развитой экономикой период экспоненциального роста численности населения закончился. Он происходил в основном в конце XIX — начале XX вв. Анализ возрастных пирамид, т. е. распределения численности населения по 10-летним возрастным группам (рис. 8.3) показывает, что они иногда имеют слегка расширенное основание из-за небольшой младенческой смертности. Заметное сужение пирамиды (т. е. уменьшение численности населения) начинается на уровне старше 50—60 лет, а активное возрастание смертности происходит лишь после 70—80 лет. Основные показатели человеческой популяции, ее состояния и здоровья для основных стран мира приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Возрастные характеристики населения по странам по М. Л. Леви и М. Буше

Страна	**Средняя ожидаемая продолжительность жизни, лет**		**Младенческая смертность, на 1 тыс. новорожденных за год**	**Валовой внутренний продукт, долл. США/чел.**
	мужчин	**женщин**		
Весь мир	**64**	**68**	**62**	6050
Россия	**59**	**72**	**19**	5000
Япония	**76**	**83**	**4**	21680
США	**72**	**79**	**8**	25 474
Канада	**74**	**81**	**7**	21 501
Швеция	**76**	**81**	**5**	18 639
Бразилия	**64**	**69**	**58**	5918
Египет	**62**	**65**	**62**	4265
Заир	**46**	**50**	108	665
Гвинея	**42**	**47**	143	1046

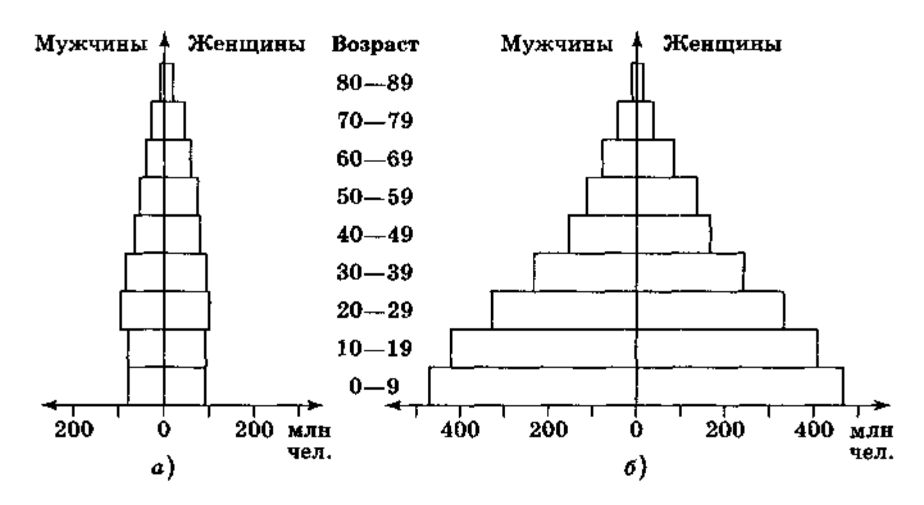


Рис. 8.3. Половозрастные пирамиды для развитых (о) и развивающихся *(б)* стран на 1984 г. (по *Б. Небелу)*

Снижение рождаемости в развитых странах происходит из-за того, что люди достигли высокого уровня благосостояния и в их сознании происходит изменение системы ценностей. На смену ценностям, связанным с большой семьей, родственными отношениями, приходят идеалы комфорта, уютной, спокойной личной жизни, требующие больших затрат на их обеспечение. Таким образом, явно обозначился кризис сознания, ведущий к более высокому уровню потребления и препятствующий росту рождаемости населения.

В развивающихся странах, таких, как страны Африки, Индия, Индонезия, Малайзия и других, рост численности человеческой популяции до сих пор чрезвычайно активен. Там одновременно очень велики и рождаемость и детская смертность при сравнительно низкой продолжительности жизни. Возрастная пирамида развивающихся стран выглядит совершенно иначе, чем у развитых. Она имеет очень широкое основание, отражающее высокую рождаемость, и иллюстрирует высокую смертность в каждой десятилетней когорте. Средняя продолжительность жизни во многих развивающихся странах всего 40—50 лет, что примерно на 30 лет меньшее, чем в экономически развитых странах.

Из-за социального и экономического кризиса 90-х годов состояние популяции человека в России в конце XX в. оказалось в критическом положении, ибо к этому времени смертность сильно выросла, а средняя продолжительность жизни

вместе с рождаемостью уменьшились. Странам, находящимся в кризисном состоянии (таким, как Россия), волна вымирания угрожает в первую очередь.

- Для развитых стран лимитирующий фактор развития — загрязнение окружающей среды, связанное с высоким уровнем потребления. Чем выше уровень потребления, тем выше расходы энергии, природных ресурсов, и тем интенсивнее происходит ее загрязнение отходами производства, потребления и быта.
- Для развивающихся стран главный лимитирующий фактор — демографический. Высокая рождаемость сопровождается высокой смертностью и численность населения этих стран растет в геометрической прогрессии. В этих странах, как в любом аграрном обществе, при семейном хозяйствовании используются каждые рабочие руки, включая детские. При высокой смертности, для того чтобы в хозяйстве осталось 2—3 взрослых работника, семье нужно иметь хотя бы 8—9 детей. Во многих развивающихся странах дети составляют почти половину населения.

Индустриальному обществу, наоборот, характерны небольшие семьи, ибо, как правило, выживают все дети, а их воспитание и образование стоит достаточно дорого. Для общества не менее важно и последующее содержание каждого его члена, что объясняется высоким уровнем потребления в таких странах. Так, в Индонезии, для обеспечения жизни одного человека расходуется примерно в 10 раз меньше природных ресурсов, чем в США. При этом основным фактором, лимитирующим продолжительность человеческой жизни, является голод, который зачастую бывает вызван истощением плодородия почв, например из-за вырубки лесов и кустарников, вызывающей их эрозию.

Таково начало порочного круга событий, ведущего к экологическому кризису.

8.2.1.3. Качество жизни и здоровье

Индикаторами качества жизни и состояния здоровья популяции человека в разных странах мира являются следующие показатели: средняя ожидаемая продолжительность жизни и стандартизованная смертность (суммарная смертность от любых причин, включая младенческую и материнскую). Де-

ятельность специализированных комиссий ООН в разных странах мира привела к тому, что в наши дни учитывают такие категории, как причины смерти, заболеваемости, временной нетрудоспособности, инвалидности, госпитализации.

В целом качество жизни в стране определяется количеством и распределением валового национального продукта, т. е. отношением валового национального продукта к численности населения. Так, 25% населения планеты, живущего в развитых странах, потребляет 80% мирового валового продукта. При этом суммарный **средний коэффициент рождаемости**[1] (фертильности) в развитых странах составляет 1,9, тогда как в развивающихся — 4,0 (без Китая). Динамика коэффициента фертильности приведена на рис. 8.4. В развитых странах общий коэффициент прироста населения (за вычетом смертности) составляет 0,6%/г, а в развивающихся странах достигает 2,1%/г. Используя эти данные в качестве исходных, можно получить, что время удвоения численности населения развитых стран составляет 117 лет, а развивающихся — всего 33,5 лет.

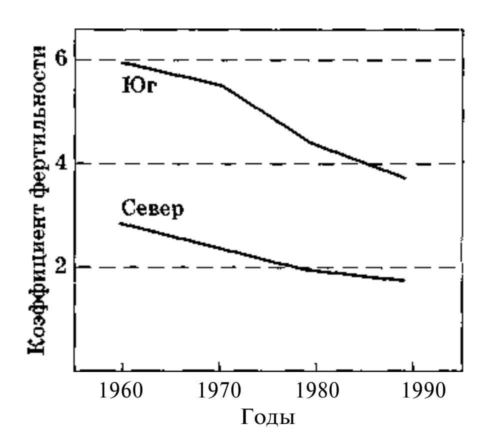


Рис. 8.4. Изменение коэффициента фертильности по данным UNDP на 1992 г.

[1] Средний коэффициент рождаемости K — среднее число детей, которое рождает каждая гипотетическая женщина за весь период ее детородного возраста. При K = 2,3 обеспечивается неизменная численность населения. В литературе этот коэффициент часто называют показателем фертильности (от лат. *fertilis* — плодородный; способность организма производить потомство).

8.2.2. Проблемы питания и производства продовольствия

Почти 90% всех продуктов питания человечество получает благодаря земледелию. *Земледелие* — возделывание сельскохозяйственных растений с целью получения урожая. Основой земледелия являются почвы. В принятой в 1983 г. международными организациями, входящими в состав ООН, «Всемирной хартии почв» говорится: «Среди главных ресурсов, которыми располагает человек, выделяется земля; к ней относятся почвы, вода, растения и животные: эксплуатация этих ресурсов не должна вызывать их деградацию или разрушение, так как жизнь человека зависит от их неиссякаемой продуктивности». Земледелие характеризуется постоянно растущей эффективностью. Исторически в нем сначала доминировало направление подбора сортов выращиваемых культур, затем преобладало совершенствование агротехники и расширение посевных площадей. В настоящее время вновь делается акцент на селекции, химизации, механизации и других формах увеличения вложения энергии.

К концу второго тысячелетия человечество приблизилось к полной реализации потенциальных земельных ресурсов. Практически остается один путь увеличения производства продуктов питания — интенсивнее использовать каждый гектар пашни.

Культивирование сельскохозяйственных культур без севооборотов повышает интенсивность использования почвы, снижает естественное плодородие и требует повышения доз внесения удобрений. По данным ФАО[1], внесение 1 кг питательных веществ удобрений ($N + P_2 0_5 + K_2 0$) в среднем дает прирост урожая пшеницы на 7,3 кг, риса — 8,6 кг, кукурузы — 8,8 кг, хлопчатника — 2,7 кг. Специалисты США так оценивают влияние различных факторов на урожайность сельскохозяйственных культур (в процентах): удобрения — 41, гербициды — 15—20, благоприятная почва — 15, гибридные семена — 8, ирригация — 5, прочие факторы — 11—16. В странах Западной Европы и Японии в последние годы вносят около 400 кг минеральных удобрений на 1 га пашни. В нашей стране к началу 90-х годов на 1 га вносили около 115 кг минеральных удобрений.

[1] От англ. FAO — Food and Agriculture Organization UN — Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН.

Кроме удобрений, фактором мощного химического антропогенного воздействия на почву является применение пестицидов. **Пестициды** (от лат. *pestis* — зараза и *caedere* — убиватъ) химические соединения, используемые для защиты растений, сельскохозяйственных продуктов, древесины, для уничтожения паразитов на коже домашних животных и борьбы с переносчиками заболеваний. К ним относятся также вещества для регуляции роста и развития растений (ауксины, гибериллины), удаления листьев (дефолианты), уничтожения растений на корню (десиканты), отпугивания животных (репелленты), уничтожения нежелательных в хозяйстве насекомых (инсектициды), вещества, применяемые для борьбы с возбудителями грибковых заболеваний у растений (фунгициды).

Пестициды первого поколения со временем стали неэффективны, ибо новые поколения вредителей приобрели устойчивость к ним. Так, если в начале XX в. под воздействием цианида погибали около 90% одного из видов насекомых-вредителей, то через 30 лет чувствительны к этому яду оказались лишь 3% особей этого вида.

Пестициды второго поколения, например ДДТ, были созданы на основе синтетических органических соединений и оказались весьма эффективными (недорогими и губительными для многих видов) не только против насекомых — вредителей посевов, но и насекомых — переносчиков болезней (вшей, комаров и др.). В 1948 г. за открытие пестицида ДДТ швейцарец Пауль Мюллер получил Нобелевскую премию. Этот ядохимикат долгое время широко применялся на полях при выращивании продовольственных и кормовых культур, считаясь совершенно безвредным для теплокровных животных. В качестве препарата для борьбы с майским жуком ДДТ распылялся с самолетов и при этом попадал не только на растения и почву, но и в водоемы, а также разносился воздушными потоками на значительные расстояния.

Позже выяснилось, что у вредителей со временем развивается устойчивость и к этим пестицидам, в результате чего через некоторое время после обработки посевов возникают вторичные вспышки численности вредителей на полях. Исследование биологических последствий применения ДДТ показало, что зачастую более чувствительны к яду оказываются природные враги вредителей. Это ведет к вторичным вспышкам численности тех видов, с которыми была запланирована борьба. В 1953 г. было замечено, что ДДТ опасен для домашнего скота.

Из-за химической устойчивости ДДТ в конце концов оказывался в пище человека. Были выявлены также канцерогенный, мутагенный и тератогенный эффекты воздействия веществ, подобных ДДТ, на человека[1].

В 1972 г. немецкие ученые установили, что производные продукты ДДТ и такие пестициды, как каптан и дибромметан, обладают мутагенным действием, т. е. воздействующим на наследственность. Особенность многих пестицидов, в том числе и ДДТ, — способность накапливаться в жировых тканях животных и организме человека, употребляющего содержащую пестициды пищу (правило «биотического усиления»).

Химическая борьба с вредителями оказалась безуспешной и противоречащей основным экологическим принципам. Динамичность и сложность структуры экосистем — причина того, что химическая атака на один вид неизбежно ведет за собой серию незапланированных и совершенно нежелательных последствий.

В настоящее время в большинстве экономически развитых стран мира наблюдается тенденция снижения объемов применения химических средств защиты растений. Например, в США за период 1975—1985 гг. их производство сократилось с 727 до 337 тыс. т.

В странах СНГ, США, Индии, Китае, Канаде и Бразилии размещается около 750 млн га пашни, т. е. более половины всех обрабатываемых земель мира. Наиболее благоприятные условия для развития земледелия находятся в Европе, однако здесь очень высока плотность населения, и обеспеченность пашней не превышает 0,3 га/чел. В Азии, где сосредоточен 31% мировой пашни, этот показатель составляет 0,15 га.

Африка и Южная Америка — материки, где население не может обеспечить себя продовольствием, но и размеры обрабатываемых земель в этих регионах составляют соответственно 6 и 8% . Помимо широкого распространения пустынь, полупустынь и трудностей освоения влажных тропических лесов этому препятствует низкий экономический и социальный уровни развития государств, расположенных в данных регионах.

[1] Применение ДДТ последние годы резко сокращено, хотя в отдельных случаях он по-прежнему считается наиболее пригодным, например, для борьбы с малярией. Решая проблему применения пестицидов, чаще всего выбирают наименьшее из двух зол. Так, благодаря ДДТ на острове Маврикий произошел взрыв численности населения при постоянной с 1900 г. рождаемости. Применение пестицида снизило детскую смертность со 150 до 50 случаев на 1 тыс. детей.

По оценке, проведенной по заданию ФАО, первоклассные земли, способные давать высокие урожаи по 2—3 раза в год, занимают всего 400 млн га. Земли второго класса, урожайность культур на которых составляет 40—60% от урожайности первоклассных, занимают 500 млн га, а земли третьего класса с урожайностью, не превышающей 20—40% от урожайности культур на первоклассных землях, занимают 1500 млн га. Продукция, полученная на землях третьего класса, неконкурентноспособна на мировом рынке и используется только местным населением.

К началу 90-х годов второго тысячелетия системами орошения было охвачено 18% пахотных земель планеты. Однако орошение одновременно с повышением урожайности способствует засолению и заболачиванию почв. Значительный урон земледелию наносит эрозия почв — процесс разрушения и переноса почв и пород ветром и водой.

Резерв интенсификации сельскохозяйственного производства — это мелиорация почв, использование высокопродуктивных сортов культурных растений, методов и приемов их защиты. *Мелиорация* — это совокупность мероприятий по коренному или, с расчетом на длительный срок, значительному изменению природной среды с целью ее улучшения для ведения хозяйства (сельского, лесного и др.) или для жизни людей.

Цель мелиорации почв — повышение плодородия путем искусственного регулирования водного, воздушного, теплового, солевого, биохимического и физико-химического режимов с помощью разнообразных приемов. Всего выделяют 35 видов мелиорации, включая орошение, осушение, борьбу с эрозией почв, оползнями, наводнениями, агролесомелиорацию, **фитомелиорацию**[1] и пр.

В экономически развитых странах, например странах Западной Европы, на каждый гектар вносится до 400 кг удобрений, в странах Азии — 9—50 кг, т. е. фактически в странах третьего мира никакой подкормки истощенных почв не ведется. Во многих развивающихся странах основные виды работ в сельском хозяйстве выполняют вручную или с помощью домашнего скота. В США и Западной Европе один трактор приходится в среднем на 34 га пашни, в развивающихся странах —

[1] Фитомелиорация — комплекс мероприятий по улучшению условий природной среды с помощью культивирования или поддержания естественных растительных сообществ: создание лесополос, посев трав и т. п.

на 620 га, а в Индии, например, — на 3000 га. Низкая культура земледелия — причина того, что урожайность важнейших продовольственных культур мала и не соответствует агроприродному потенциалу.

Наибольшие резервы по увеличению обрабатываемых угодий имеют Южная Америка и Африка, где еще можно освоить сотни миллионов целинных земель. Распашка должна производиться в соответствии с принципами рационального использования, сохранением должных размеров лесных и травянистых полос. Основное внимание должно уделяться внедрению интенсивных технологий, а не освоению маломощных земель.

8.2.3. Факторы, лимитирующие развитие человечества

За последние 40 лет в человеческом обществе, а в результате и на планете в целом произошло столько событий, сколько раньше происходило за 1000 лет. Признаками, сопутствующими современному этапу развития технологической цивилизации, являются экспоненциальный рост населения Земли, постепенное истощение ресурсов, а также растущее загрязнение окружающей природной среды.

8.2.3.1. Демографический взрыв

Первопричина современного экологического кризиса — демографические проблемы человечества, связанные с экспоненциальным ростом численности и усилением миграции населения.

В природных популяциях животных и растений рост численности редко идет по экспоненциальному закону. Как правило, модели роста популяций в природе — это логистические модели, в соответствии с которыми из-за давления среды пределы роста достигаются быстро. Факторы давления среды (истощение ресурсов, конкуренция за пространство и ресурсы) быстро приводит к ограничению численности любой природной популяции. Однако с человеком произошло иначе.

Считают, что первые люди во времена, когда они начали овладевать огнем и заселять планету, представляли собой популяцию численностью не более 1 млн чел. Это было еще до перехода к земледелию, т. е. до того, как человек вышел из-под влияния естественного отбора. С началом земледелия

и скотоводства численность человеческой популяции возросла примерно до 100 млн чел. (рис. 8.5).

Средняя продолжительность жизни в древнем мире была невелика: так, в Древней Греции она не превышала 20—25 лет. В XVII—XIX вв. условия жизни начали улучшаться, медицина шагнула вперед. В конце XIX и особенно в XX в. произошли кардинальные изменения в этой области, благодаря чему уменьшилась детская смертность, продолжительность жизни перешагнула 25—30-летний рубеж (границу достижения репродуктивного возраста) и начался очень быстрый, экспоненциальный рост численности человеческой популяции. Все это и стало началом современного демографического взрыва.

После Второй мировой войны на Земле в 1950 г. проживало 2,5 млрд человек. В 1982 г. общая численность населения планеты превысила 5 млрд, а в 2000 г. она уже составляла более 6 млрд чел., т. е. почти в 2,5 раза выше, чем в 1950 г. Географически рост происходит неравномерно (рис. 8.4. и 8.6). За последнее время особенно быстро росло население Китая, Индонезии, Индии, стран Африки и Латинской Америки. В СССР рост численности населения был большим за счет республик Средней Азии. В России же незначительный рост, происходивший до 1992 г., сменился нарастающим снижением численности населения.

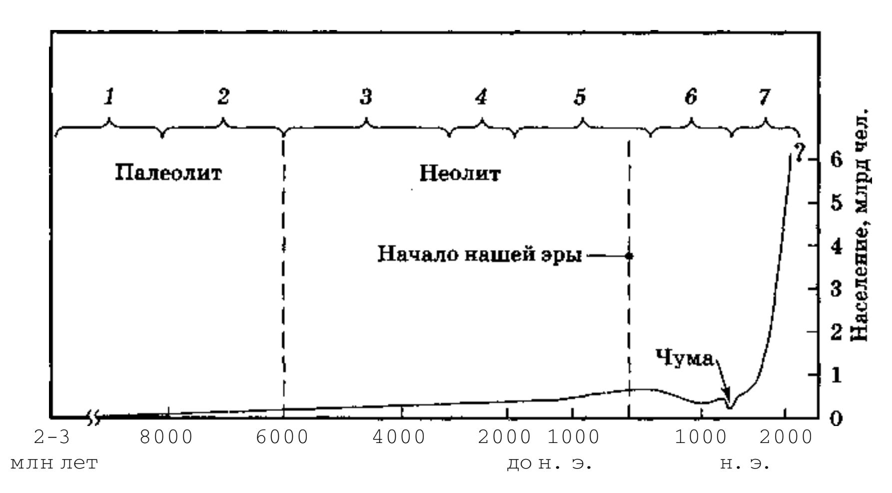


Рис. 8.5. Динамика изменения фактической численности населения Земли на протяжении человеческой истории и ее взрывообразный рост в.наши дни (по *Ф. Рамаду* с дополнениями); *1* — Древний каменный век; *2* — начало нового каменного века; *3* — Новый каменный век; *4* — Бронзовый век; *5* — Железный век; *6* — Средние века; 7 — наше время

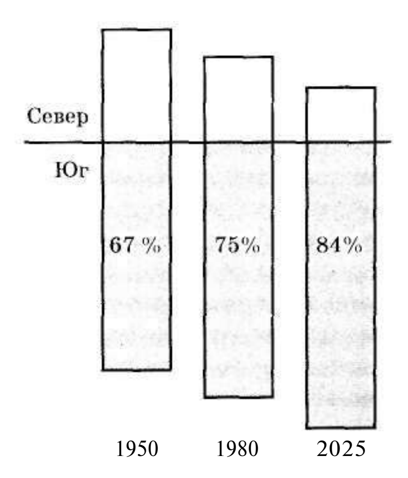


Рис. 8.6. Тенденция изменения соотношения численности населения в странах Севера и Юга по данным UNDP на 1992 г.

К мерам по поддержанию популяционного равновесия человечества относится ряд международных соглашений, принятых в рамках ООН, в частности, соглашение по народонаселению. На основе программ ООН с целью снижения уровня рождаемости и уровня смертности разработана политика помощи развивающимся странам, включающая обеспечение контрацептивами и медико-санитарную помощь, а также экономические меры, призванные поднять уровень жизни и образованность населения. Кроме того, были разработаны международные проекты, в рамках которых развивающимся странам передавались современные технологии, ориентированные не на крупные промышленные или сельскохозяйственные производства, а на небольшие семейные производства и фермерские хозяйства. Преимущественно это экологически оптимальные технологии, обеспечивающие высокую производительность труда.

8.2.3.2. Истощение природных ресурсов

Истощение ресурсов идет по нескольким направлениям.

Во-первых, истощаются невозобновимые ископаемые энергоресурсы биогенного происхождения — уголь и нефть, хотя их запасы пока достаточно велики. Кроме того, биосфера имеет и альтернативные несчерпаемые источники энергии: ветер, приливы и отливы, солнечную радиацию.

Во-вторых, истощаются такие относительно возобновимые ресурсы, как почва и леса. Почвенный покров планеты страдает от эрозии, в результате которой катастрофически убывает плодородный слой. Многие древние цивилизации исчезли с лица Земли именно вследствие неумеренной распашки почвенного слоя. Так, нынешняя пустыня Сахара была когда-то богатейшей житницей Римской империи. И сейчас на различных участках земного шара происходит опустынивание, связанное прежде всего с вырубкой лесов, сведением кус-

тарников и травяного покрова. Сплошная распашка почв ведет к пыльным бурям, ветровой и водной эрозии плодородного почвенного слоя. Для борьбы с этими явлениями необходима защита полей лесными и кустарниковыми полосами, укрепление склонов оврагов древесными и кустарниковыми насаждениями и иные простые, но эффективные мероприятия.

Катастрофичной в данное время является вырубка[1] тропических лесов, которые являются одним из крупнейших источников кислорода, жизненно важного ресурса нашей планеты, возобновляемого биотой. Тропические леса исчезают в силу того, что население в этих районах быстро увеличивается. Из-за угрозы голода люди в погоне за небольшими урожаями используют под поля и огороды любые клочки земли, вырубая для этого древние тропические леса, деревья, кустарники. В случае уничтожения лесов в экваториальной зоне, Амазонии и, как следствие, снижения содержания кислорода в атмосфере планеты человечество и само существование биосферы[2] окажутся под угрозой гибели от гипоксии.

Другим значительным источником кислорода является фитопланктон тропического океана. Но и этот источник кислорода находится под угрозой, так как океан с громадной скоростью загрязняется отходами промышленного и сельскохозяйственного производства. Таким образом, биогенные ресурсы кислорода хотя и являются возобновимыми, но в настоящий момент находятся под угрозой истощения.

В третьих, из-за загрязнения водоемов под угрозой исчезновения оказались запасы чистой пресной воды. Загрязняясь биогенами, водоемы подвергаются эвтрофизации, многие из них превращаются в болота, становясь непригодными для жизни рыб ценных промысловых пород. При загрязнении абиогенными продуктами сельскохозяйственного и промышленного производства (тяжелыми металлами и ксенобиотиками) воды становятся токсичными для своих обитателей. Эта опасность — результат стока воды с полей и ферм, от промышленных объектов. В загрязнение воды и почвы весомый вклад вносят:

- сельское хозяйство вследствие применения удобрений, пестицидов, гербицидов и иных химикатов, особенно при использовании их в произвольных количествах;

[1] Иногда в литературе в данном контексте встречается термин «сведение лесов».

[2] В настоящее время почти все живое на Земле нуждается в кислородной атмосфере.

- промышленность из-за недостаточно совершенных очистных сооружений.

Поскольку самовосстановление и саморегуляция являются природными свойствами экосистем, то почвы, воздух и вода в природных экосистемах способны к самоочищению. Однако из-за вымирания под натиском деятельности человека многих биологических видов — звеньев трофических цепей — экосистемы теряют способность к восстановлению и начинают разрушаться сами.

8.2.3.3. Загрязнение среды обитания

Человек для удовлетворения собственных нужд вовлек в сферу своего потребления большое количество новых для биосферы веществ и материалов, не имея при этом достаточных сведений о их безопасности. В конце второго тысячелетия на нашей планете с коммерческими целями производится около 100 000 химических веществ, но 95% объема мирового производства приходится всего на 1500 из них.

При современном уровне развития науки и техники высокий уровень безопасности использования может быть обеспечен для любых химических веществ и материалов. Однако, по оценкам международных экспертов, большинство стран, особенно развивающихся, пока не способны сочетать рентабельность и безопасность при использовании химических веществ. Обобщенные данные о доле производимых человеком химических веществ, исследованных на настоящий момент времени на токсичность, представлены на рис. 8.7.

Механизм пагубного воздействия результатов хозяйственной деятельности человека на живые организмы нашей планеты см. в разд. 8.3.1. Особенностям и масштабам ускоряющегося антропогенного загрязнения биосферы, связанного с развитием промышленных и сельскохозяйственных производств, посвящена гл. 9.

8.2.4. Технологическая цивилизация и биосфера

Технологическая цивилизация, обеспечившая демографический взрыв, развивалась шаг за шагом, начиная с древних времен. Началом экономики явилось потребление кормовых природных ресурсов в эпоху собирательства. Следующим

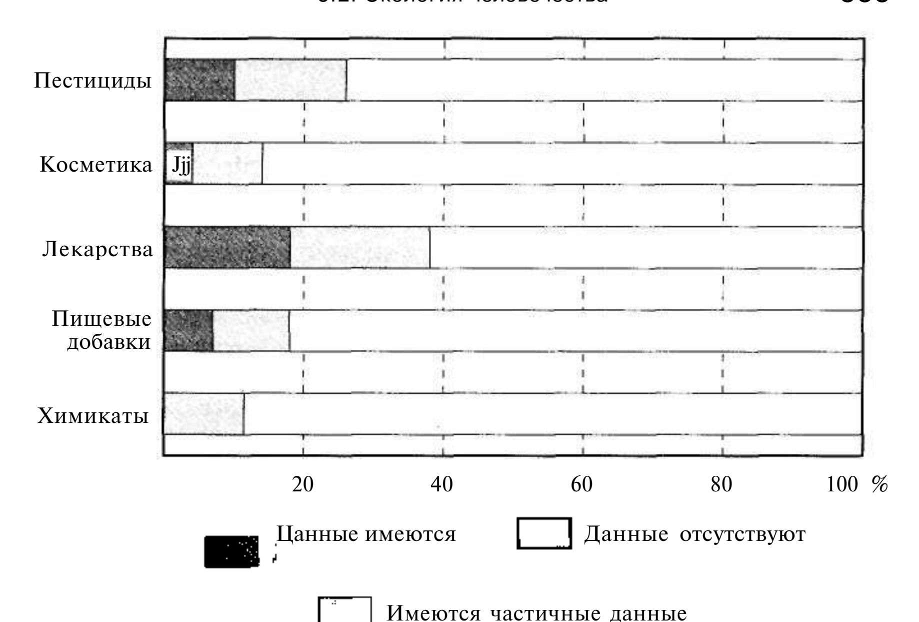


Рис. 8.7. Данные о токсичности по группам химических веществ по данным UNEP на 1991 г.

шагом стало появление новых технологий добычи, охотничьих и боевых приемов, т. е. конкурентная борьба за ресурсы. Изобретение орудий труда способствовало появлению технологий переработки ресурсов, развитие которых является отличительным свойством человеческих популяций.

Современные технологии направлены, с одной стороны, на использование новых ресурсов, с другой стороны, на сокращение и утилизацию отходов. В идеале создаются технологические пирамиды, подобные природным трофическим пирамидам. Поэтому устойчивость технологических систем, как и природных экосистем, обеспечивается наличием разнообразия. Развитие технологической цивилизации прошло через несколько стадий. Начальной была малоспециализированная добыча и экстенсивное производство. Промежуточная стадия характеризовалась ростом эффективности переработки. Современная стадия, имеющая шанс перейти в устойчивую, отличается специализированным производством с высокой эффективностью использования и реутилизации ресурсов.

Развитие технологической цивилизации в конце концов должно привести к созданию ресурсосберегающих технологий, и тогда вершиной цивилизации так же, как вершиной природ-

ной эволюции, станут практически безотходные круговороты вещества. Человек же вмешивается в безотходные природные круговороты и нарушает их, тем самым разрушая системы саморегуляции в биосфере.

8.3. Экологические кризисы и катастрофы

В истории планеты многочисленны примеры экологических кризисов и катастроф различного масштаба. Они неоднократно потрясали биосферу, несли гибель многим видам живого и существенно меняли генотипический состав биоты. Нарастание негативных последствий антропогенного воздействия на биосферу привело к современной кризисной ситуации в ней.

Кризисы, бедствия и катастрофы — это нарушения природного экологического равновесия, потеря устойчивости биологическими системами. При этом *кризисы,* не разрушают систему полностью, а приводят ее в состояние неустойчивости, из которого возможен выход к изменению уровня функционирования или управления системой, либо к гибели системы. Таким образом, кризис может быть и обратимым. *Катастрофа* — комплекс изменений в системе, которые ведут к ее исчезновению. При катастрофе нарушается одновременно большое количество взаимосвязей, прекращает функционировать системообразующий фактор, и система, как таковая, перестает существовать.

Катастрофы в биосфере за время ее существования бывали редко и не оставляли генотипических следов, ибо приводили к вымиранию большого количества видов. После этого вымирания происходили крупные эволюционные перестройки, появлялись новые виды, значительно отличавшиеся по своей организации от предшествующих.

Причинами катастроф были необратимые природные явления (локальные засухи, моры), а также перестройки (прежде всего климатические) во всей биосфере, связанные с периодами горообразования, глобальных потеплений или похолоданий, образования, движения или таяния ледников. Во время тех древних катастроф вымирало более половины всех живущих на Земле видов, причем исчезали климаксные (устойчивые) сообщества и планета заселялась как бы заново, уже дру-

гими видами, которыми начинались новые (первичные) сукцессионные ряды.

В наши дни более 90% мировых стихийных бедствий приходится на наводнения, ураганы, землетрясения и засухи. Оставшиеся 10% в сумме составляют сели, цунами, торнадо, снегопады и т. п. По материальному ущербу для человека наиболее значимы наводнения, а по числу человеческих жертв — ураганы.

8.3.1. Особенности антропогенного воздействия на биоту

Антропогенное воздействие на биоту имеет важные особенности:

- нелинейность дозового эффекта различных чуждых веществ или излучений на биологические системы, т. е., как правило, действие малых доз зачастую является несоразмерно сильным. Нелинейность дозового эффекта выражается в том, что для некоторых веществ (например, опасных канцерогенов) или ряда мутагенных факторов (например, ионизирующей радиации) безопасных доз и концентраций просто не существует;
- наличие кумулятивного эффекта, т. е. накопление неблагоприятного воздействия на организм. В частности, в организме человека кумулятивный эффект загрязнений проявляется в виде накопления стресса, общей усталости, напряжения, переходящих в предболезнь;
- синергическое, т. е. совместное, действие. Если даже малые концентрации каких-либо химических веществ действуют на один и тот же организм одновременно, то возможен самый разнообразный интегральный эффект. Одни вещества могут усиливать или ослаблять действие других, а в некоторых случаях возможен неожиданный результат;
- наличие генотипических, иммунологических и индивидуальных различий в чувствительности к тем или иным воздействиям, т. е. для всех живых организмов характерны различия в чувствительности мишеней. На примере критических периодов онтогенеза видно, что такая разница в чувствительности может быть очень велика. Так, во время формирования у эмбриона какого-либо органа самая ничтожная доза химического вещества

(такого, как аспирин или легкое снотворное) может вызвать уродство, тогда как у взрослого организма эта же доза не окажет неблагоприятный эффект.

Следовательно, все антропогенные воздействия могут быть сравнимы с факторами естественного отбора. В конечном счете суммарное воздействие на человека антропогенно измененных факторов окружающей среды происходит аналогично естественному отбору и проявляется в форме бесплодия, предродовой и послеродовой смертности. В старых промышленных районах население благодаря генетической адаптации оказывается более устойчивым к загрязнениям.

Многим загрязнениям характерно триггерное[1] действие, а именно то или иное загрязнение может вызвать цепную реакцию, начинающуюся с какого-то одного наиболее чувствительного вида. Далее реакция передается по трофической сети и ведет к тому или иному поражению целой экосистемы.

Например, хлорфторуглероды (фреоны) оказывают токсическое действие на организм человека, но при малых дозах эффект не заметен. Одновременно эти газы относятся к «парниковым», и при их накоплении в атмосфере возникают такие глобальные изменения, как перераспределение осадков или потепление. Результатом присутствия фреонов в атмосфере является разрушение озонового слоя и, как следствие, повышение мутагенного эффекта ультрафиолетовых лучей Солнца. Анализ всей цепочки воздействия на биоту показывает, что даже небольшие концентрации этих веществ ведут к значительным изменениям в организме.

8.3.2. История антропогенных экологических кризисов

История биосферы богата примерами локальных экологических кризисов. Они случались как до появления человечества[2], так и во время его существования. В районах, оказавшихся испорченными неумелым хозяйствованием человека, «свет цивилизации» постепенно затухал, зато с новой силой и новым блеском он вспыхивал в других районах земного ша-

[1] Триггер (от англ. *trigger)* — спусковой крючок, собачка

[2] По одной из теорий считается, что само возникновение разумного существа — человека — является следствием доантропогенного экологического кризиса аридизации, случившегося около 3 млн лет назад.

ра. Подобными кризисами, вызванными антропогенными воздействиями, принято считать следующие.

Кризис перепромысла животных (кризис консументов). Это был первый[1] антропогенный экологический кризис, который произошел 10—50 тыс. лет назад в результате интенсивного развития охоты. Выход из кризиса был найден в ходе сельскохозяйственной революции, ознаменовавшейся переходом к производящему хозяйству.

Кризис примитивного поливного земледелия (кризис продуцентов). Он возник около 2 тыс. лет назад в связи с повышением производительности сельского хозяйства и появлением излишков продукции, которые можно было менять или продавать. Кризис был вызван истощением плодородия почв. Решить проблему удалось в результате второй сельскохозяйственной революции, переходом к широкому освоению неполивных земель.

Кризис перепромысла растительного материала (кризис продуцентов). Этот кризис принято считать вторым антропогенным кризисом, который произошел 150—350 лет назад. В ходе промышленной революции он заставил человечество начать интенсивное использование минеральных (ископаемых) источников энергии, что совместно с другими процессами вызвало дисбаланс в энергетических процессах биосферы.

Кризис физического и химического загрязнения биосферы (кризис редуцентов). Далее, 40—60 лет назад, в связи с развитием научно-технической революции начался и продолжается в настоящее время третий антропогенный или глобальный кризис, который уже не в состоянии справляться с разложением всего постоянно растущего «антропогенного букета загрязнений». Особые проблемы возникают с теми впервые синтезированными человеком веществами, которые не имеют природных аналогов, и, следовательно, для которых в природе нет систем (организмов или абиотических процессов), способных редуцировать эти вещества до исходных химических элементов.

[1] Наименования и нумерация экологических кризисов здесь и в разд. 8.3.3 приводятся в соответствии с их классификацией, предложенной Н. Ф. Реймерсом.

8.3.3. Современный экологический кризис

В наши дни третий антропогенный кризис дополнился четвертым глобальным термодинамическим (тепловым) кризисом или энергетическим кризисом потребления. Кроме научно-технической революции, он вызван кризисом сознания и увеличением потребления, т. е. идеалы потребительства стали превалировать над прежними идеалами человечества.

Уже более 3 млн лет наблюдается усиление антропогенного воздействия на биосферу, которое происходит нелинейно, а в последние 40—50 лет — в режиме самоускорения (или обострения).

Термодинамический кризис вызывает климатические изменения в биосфере, связанные с парниковым эффектом, возникающим из-за загрязнения атмосферы парниковыми газами (см. разд. 9.1.1.1). Растущее потребление энергии и выделение парниковых газов грозит планете глобальной экологической катастрофой. Может произойти повышение уровня Мирового океана и затопление прибрежных земель (таких, как земли северной Европы) и многих крупных городов. Кроме этого, уже сейчас наблюдаются локальные кризисные климатические ситуации, связанные с возникновением торнадо, цунами, резкими перепадами погоды, наводнениями — все это результат нарушения термодинамического режима нашей планеты. Выброс газов в атмосферу ведет еще к двум опасностям — выпадению кислотных осадков (см. разд. 9.1.1.3) и разрушению озонового слоя (см. разд. 9.1.1.2).

В результате нарастания самоускоряющихся негативных процессов (демографического взрыва, уничтожения биологических видов и целых экосистем, истощения природных ресурсов, а также загрязнения окружающей природной среды) биосфера в наше время оказалась в состоянии экологического кризиса и даже более того — на грани экологической катастрофы (см. разд. 1.1.2). Главными чертами этого кризисного состояния являются: истощение ресурсов, перенаселение, а также загрязнение биосферы ксенобиотиками, т. е. чуждыми для нее веществами. Основные критические процессы в биосфере — это достижение человеком и значительное (в наши дни на порядок) превышение порога энергетического лимита; разрушение природных экосистем.

В 1900 г. естественные экосистемы суши были разрушены на 20%, а сейчас — уже на 63%. Разрушаются также морские экосистемы, прежде всего внутренние моря.

В XX в. антропогенное воздействие усилилось. В начале века человечество потребляло примерно 1% чистой первичной биосферной продукции, а к концу века уже 10%. Кроме того, первичная продукция оказалась разрушена еще на 30%; при этом часть ее перераспределилась человеком в пользу сопровождающей фауны, т. е. домашних животных, крыс, мышей, тараканов, микроорганизмов. В результате нарушается круговорот биогенов, меняется их естественная концентрация во всех средах, а в итоге постоянно снижается биоразнообразие. По некоторым подсчетам в настоящее время ежегодно гибнут тысячи биологических видов.

Всякая живая система, используя обратные связи, всегда стремится к самосохранению. Система обратных связей в биосфере направлена на **элиминацию**[1] человека как вида. Увеличивается генетический «груз» человечества, отмечается рост психических и нервных заболеваний, снижается общая сопротивляемость болезням, усиливается стресс перенаселения в городах, агрессия, страх и т. д. Человек для оправдания названия своего вида «Человек разумный» должен планировать дальнейшую деятельность так, чтобы сохранить оставшуюся и по возможности восстановить утраченную биоту планеты за счет естественной саморегуляции природной среды.

Современная эпоха характеризуется нарастающей необходимостью соблюдения экологического **императива**[2], т. е. жесткого требования учитывать в хозяйственной деятельности человека природные экологические законы и ограничения, а также не превышать пределы экологической емкости природных экосистем. Емкость природных экосистем определяется их способностью к регенерации изъятых ресурсов и к восстановлению основных природных «резервуаров» (воздушного и водного бассейнов и земель), а также мощностью потоков биогеохимического круговорота. Если не учитывать экологическую емкость природных экосистем при развитии производства или при заселении каких-то участков земли, то возможны локальные кризисные ситуации.

[1] Элиминация (от лат. *ellminare* — изгонять) — исключение, устранение; в палеонтологии — избирательное уничтожение отдельных особей или целых групп организмов в результате естественного отбора.

[2] Императив (от лат. *imperativus* — повелительный) — повеление, настоятельное требование, всеобщий обязательный закон.

На основе данных о емкости биосферы были проведены расчеты энергетического лимита хозяйственной деятельности человечества. Получено, что лимит составляет $0,74 \cdot 10^{12}$ ТВт, тогда как валовая мощность энергетики современного общества (включая энергию ископаемых топлив), по данным В. Г. Горшкова, оценивается в $18 \cdot 10^{12}$ ТВт или в 24 раза больше допустимой величины.

Энергетика природных биоценозов построена таким образом, что микроорганизмы (мелкие грибки и бактерии) потребляют примерно 90% энергии растительной биомассы, мелкие беспозвоночные животные — еще около 10%, а крупные животные (в том числе позвоночные) — всего 1%. Эти организмы имеют малый коэффициент полезного действия, и их роль в биоте заключается в тонкой настройке функционирования сообществ. Следовательно, человек в естественных границах биосферы должен потреблять не более 1% добытой энергии, т. е. тратить только 1% на свои нужды, а 99% — на поддержание биоты.

Биота является на данный момент единственным механизмом результативного управления окружающей природной средой, в которой только и может существовать человек. Сейчас энергетическая мощность биоты составляет примерно 1/1000 количества приходящей на Землю солнечной энергии. Столь малая часть регулирует климат, формирующийся за счет остального количества солнечной энергии. Увеличение доли биоты приведет к дисбалансу в климате планеты. Поэтому величина 1/1000 и является энергетическим лимитом, т. е. естественным барьером для дальнейшего увеличения хозяйственной деятельности человека.

Силу антропогенного воздействия можно оценивать по следующим основным критериям:

- вероятности сохранения природных экосистем;
- вероятности сохранения здоровья человека;
- хозяйственному значению.

Сохранность экосистем, как правило, оценивается:

- по шкале обилия, т. е. шкале биопродуктивности (в частности, для растений об этом судят по проценту покрытия растительностью почвенного слоя);
- по шкале разнообразия, включающей несколько индексов биологического разнообразия, обычно учитываемых при мониторинге.

Таким образом, современное человечество находится на пороге экологической катастрофы, и непременным условием

его дальнейшего существования является сохранение биосферы. Для этого следует выбрать такой путь развития цивилизаций, при котором как можно быстрее удастся резко уменьшить (в несколько раз) антропогенное давление на природную среду и тем самым оградить биосферу от разрушения.

Контрольные вопросы и задания

8.1. В чем отличия и сходства человека и животного мира?
8.2. Почему человек стал строить свою собственную экосистему?
8.3. Полностью ли человек независим от факторов природной среды?
8.4. Почему экологической нишей человека является вся наша планета?
8.5. На какие типы можно подразделить среду обитания человека?
8.6. Какие факторы окружающей среды, влияющие на здоровье человека, являются абиотическими?
8.7. Какими факторами ограничен рост человеческой популяции?
8.8. Почему в динамике роста человеческой популяции преобладает экспоненциальная зависимость?
8.9. Что может произойти с человеческой популяцией, если ее численность достигнет предельной биологической емкости среды?
8.10. В чем особенности современного экологического кризиса? Сформулируйте его основные черты.

ГЛАВА 9

АНТРОПОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ БИОСФЕРЫ

Загрязнение окружающей среды. Привнесение в природную среду, или возникновение в ней новых, обычно нехарактерных, физических, химических, информационных или биологических агентов, или превышение в рассматриваемое время естественного среднемноголетнего уровня (в пределах его крайних колебаний) воздействия перечисленных агентов на среду, приводящее к негативным (с позиций человека) последствиям, называют загрязнением. В наиболее общем виде:

> ЗАГРЯЗНЕНИЕ — это все то, что появляется не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит ее системы из равновесия, отличается от нормы, обычно наблюдаемой и (или) желательной для человека.

Необходимо обратить внимание на то, что те или иные агенты не просто воздействуют на воду, атмосферный воздух или почву, а объектом воздействия всегда является экосистема (биогеоценоз). Поскольку в экосистемах эти агенты выступают в роли экологических факторов, то *фактически происходит изменение режимов экологических факторов.* В результате один или несколько из них выходят за границы своих оптимальных значений и даже могут выйти за пределы толерантности организмов соответствующего биоценоза, т. е. отклониться от требований экологической ниши того или иного организма и даже звена трофической цепи. В последнем случае нарушаются процессы обмена веществ между звеньями пищевой цепи, что сказывается на интенсивности ассимиляции продуцентов, а следовательно, и на продуктивности биоценоза в целом.

Таким образом, *загрязняющим агентом может быть любой экологический фактор,* например любое вещество, находя-

щееся в составе воздуха, воды, почвы. Загрязнение среды — сложный, многообразный процесс. При изучении или описании современных процессов в экосистемах и в биосфере в целом принято выделять загрязнение:

- *химическое* (или ингредиентное), заключающееся в изменении химического состава среды (отклонении от нормального уровня концентрации характерных ингредиентов и от появления новых);
- *физическое* (или параметрическое), связанное с отклонением от нормы физических параметров окружающей среды;
- *биологическое,* включающее микробиологическое (бактериями и вирусами — возбудителями болезней, носящих характер эпидемий) и макробиологическое (животными и растениями, случайно либо ошибочно интродуцированными в новые экосистемы).

В наши дни наиболее масштабным и значительным загрязнением окружающей природной среды считается химическое загрязнение, в большинстве случаев рассматриваемое отдельно для атмосферы, гидросферы и литосферы. При физическом же загрязнении выделить особенности его воздействия на отдельные компоненты биосферы труднее, поэтому его принято подразделять на виды: шумовое, электромагнитное, ионизирующее и т. п. (см. разд. 9.1.4).

По масштабам воздействия различают загрязнение биосферы:

- *локальное* — характерно для городов, крупных промышленных и транспортных предприятий, районов добычи полезных ископаемых, крупных животноводческих комплексов и т. п.;
- *региональное* — охватывает значительные территории и акватории как результат влияния крупных промышленных районов;
- *глобальное* — распространяется на большие расстояния от места возникновения и оказывает неблагоприятное воздействие на крупные регионы, вплоть до общепланетарного влияния (чаще всего связано с выбросами в атмосферу).

Антропогенное загрязнение. Загрязнение, возникающее в результате хозяйственной деятельности людей, в том числе их прямое или косвенное влияние на состав и интенсивность природного (естественного) загрязнения называют *антропогенным.* Эколог Э. Кормонди подчеркивал: «Загрязните-

ли — нормальные побочные продукты жизнедеятельности человека как биологического вида и как социального творческого существа. Они представляют собой органические и неорганические отходы метаболизма и пищеварения, а также деятельности по выращиванию и защите урожая, обогреву жилища, производству одежды, овладению энергией и т. д.».

Антропогенные помехи. С позиций кибернетики загрязнение можно представить как комплекс помех в экосистемах, воздействующих на потоки вещества, энергии и информации в пищевых (энергетических, информационных) цепях. Однако эти помехи могут значительно превышать приспособительные возможности организмов, которые определяются эволюционно выработанной на уровне популяций *нормой реакции,* или иначе экологическим стандартом. Поэтому в отличие от естественных помех антропогенные помехи часто ведут не к «естественному» отбору, а к массовому вымиранию организмов.

В настоящее время *основным загрязнителем окружающей природной среды стал человек.* При этом изготовление (производство) абсолютного большинства видов промышленной продукции интересует человеческое общество лишь в той мере, в какой она (продукция) удовлетворяет его потребности. Иначе говоря, целью всего, что делается человеком, является удовлетворение его потребностей в продуктах питания, одежде, благоустроенном жилье, медицинской помощи, лекарствах, транспортных услугах, информации, в культурно-эстетической сфере и т. п.

Так, железнодорожные составы, перевозящие уголь (мазут), нужны людям лишь постольку, поскольку это топливо будет сожжено в печах и даст тепло в их дома. Только ради удовлетворения потребности в тепле общество соглашается строить вблизи от жилья железнодорожные пути, станции, вагоноремонтные депо и другие объекты, негативно воздействующие на ОС. Тем не менее общепризнано и даже зафиксировано в «Стратегии устойчивого развития: Проект второй Мировой стратегии охраны окружающей среды», одобренной в 1992 г. на конференции ООН в Рио-де-Жанейро, что «цель развития — улучшать качество жизни людей».

Удовлетворение потребности общества в предмете, услуге, информации всегда связано с обменом между природной и техногенной средой веществом, энергией, информацией, в процессе которого они образуют сложные геотехнические комплексы и системы. При этом каждое предприятие (горнодобывающее, промышленное, транспортное, энергетическое, сельскохозяй-

ственное, коммунальное и т. д.) вовлекает в свою производственную сферу сырье и природные ресурсы, а возвращает в окружающую природную среду лишь отходы производственных процессов.

Всякая хозяйственная деятельность приводит к образованию отходов, которые рассеиваются в окружающей природной среде, меняя диапазон естественных колебаний экологических (в первую очередь абиотических) факторов.

Характеризуя химическое воздействие на окружающую природную среду, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) отмечает, что из более чем 6 млн известных химических соединений человеком непосредственно используется до 500 тыс. соединений, при этом из них около 40 тыс. обладают вредными для людей свойствами.

В природной среде техногенные вещества и энергия (в виде отходов) перераспределяются за счет миграции, трансформации и аккумуляции в различных компонентах биосферы. Так, пыление и газовыделение из хранилищ жидких и твердых отходов приводят к загрязнению атмосферы. Атмосферные осадки, вымывая загрязняющие вещества из воздуха, переносят их на подстилающую поверхность и в водоемы. Это в свою очередь способствует вымыванию и выщелачиванию мелкодисперсных и растворимых составляющих пород антропогенного и природного происхождения в поверхностные и грунтовые воды. Взаимный качественно-количественный массообмен существует также между поверхностными и подземными водоемами.

Прямое и косвенное, преднамеренное и непреднамеренное воздействия на природу. Прямым антропогенным воздействием называют непосредственное влияние деятельности человека на природные экосистемы. *Прямое воздействие* — это любой вид непосредственного вторжения человека в биогеоценозы: строительство поселений, дорог, использование земель в сельскохозяйственном производстве, ведение лесозаготовок, охотничьего или рыболовецкого промысла, добыча полезных ископаемых, промышленное производство и др. Все это ведет к перерождению биогеоценозов и сужению разнообразия биологических видов, а также к накоплению загрязнений в природной среде.

Последствия подобной деятельности не ограничиваются только прямым преднамеренным воздействием на природу.

Учитывать следует также косвенные и отдаленные последствия хозяйствования. Так, лесозаготовительные работы в бассейне реки могут привести к ряду взаимосвязанных последствий: уменьшению влажности почвы, снижению уровня грунтовых вод, усыханию притоков реки, снижению уровня воды в реке и в озере, куда она впадает, изменению водных и почвенных биоценозов. В озере могут создаться условия, уменьшающие численность некоторых видов рыб, развивающие цианобактерии («цветение» водоема). В результате эта цепочка событий приведет к отрицательным последствиям для людей, живущих около водоема и пользующихся его водой.

Характерные примеры цепной реакции непреднамеренных воздействий первичной преднамеренной хозяйственной акции — это последствия использования пестицидов в сельском хозяйстве.

Ресурсный цикл. К концу второго тысячелетия в биосфере наряду с биогеохимическим круговоротом веществ сформировался антропогенный круговорот веществ, или ресурсный цикл.

Ресурсный цикл — обмен веществ между природой и обществом, включающий извлечение естественных ресурсов из природной среды, вовлечение их в хозяйственный оборот с последующей утилизацией, а также возвращение трансформированной природной субстанции в окружающую среду. Аналогом ресурсного цикла является жизненный цикл продукции — новое понятие, введенное международными стандартами ИСО серии 14 000. На рис. 9.1 представлена схема ресурсного цикла, включающего основные этапы цепи «сырье — производство — эксплуатация (потребление) — утилизация (вторичные ресурсы) — отходы».

Этап 1. Разведка, добыча природного ресурса, представленного *i-ы* видом сырья или материала, топлива или энергии M_i при г = 1,2, 3,..., n.

Этап 2. Изготовление ;-го изделия, детали, полупродукта N. при у = 1, 2, 3,..., m.

Этап 3. Производство из Z N- изделий, деталей, полупродуктов некоего предмета потребления или объекта (например, транспортного средства, медицинского центра или космического спутника связи) для оказания в дальнейшем услуги (соответственно, транспортной, медицинской, информационной или иной, необходимой обществу).

Этап 4. Эксплуатация объекта (включая хранение, например, транспортных средств на стоянках) для удовлетворе-

ния потребности общества и конкретных людей в предмете (потребление предмета), в транспортной, медицинской, информационной или иной услуге, а также в культурно-эстетической сфере, т. е. реализация той цели, для достижения которой на предыдущем этапе и был изготовлен предмет или объект.

Этап 5[1]. Ремонт объекта для восстановления утраченных потребительских свойств (технических характеристик) с целью продления срока службы, если это по каким-либо причинам (например, экономическим) рациональнее изготовления объекта заново.

Этап 6. Реновация объекта, т. е. подготовка к эксплуатации его (или его узлов, агрегатов, комплектующих) по иному назначению или в иной (преимущественно менее ответственной) сфере потребления[2].

Этап 7. Утилизация объекта, его узлов и деталей, а также всех отходов и веществ, уловленных при очистке выбросов в атмосферу и сбросов в природные водоемы на предыдущих этапах, с выделением всего, что может быть использовано повторно в качестве вторичных материальных (ВМР) и энергетических ресурсов (ВЭР).

На каждом этапе превращения природного ресурса в конечный продукт имеются потери используемого вещества. При добыче полезных ископаемых в отвалы направляется «пустая порода». Значительны потери при транспортировке сырья к месту переработки. При выработке энергии, например с использованием органического топлива, оно полностью превращается в иные соединения — золу, шлаки, оксиды углерода и др. Отсутствие технологий, обеспечивающих комплексную переработку сырья (т. е. использующих все его компоненты) на стадии производства изделий, приводит к образованию большого количества отходов.

[1] Является подциклом общего ресурсного цикла.

[2] Диапазон возможностей для реновации очень широк. Он включает и перемонтаж выработавших летный ресурс авиадвигателей воздушных судов на речные и морские суда на подводных крыльях, и перевозку мебели на дачный участок при замене ее в современной городской квартире, и сезонные распродажи товаров. Реновация экологически эффективна также при решении задач конверсии военной техники и оборонных предприятий. Все вещества и энергия (бывшие природные ресурсы), за исключением возвращенных в ресурсный цикл ВМР и ВЭР, после седьмого этапа поступают в окружающую природную среду, где они уже являются загрязнением.

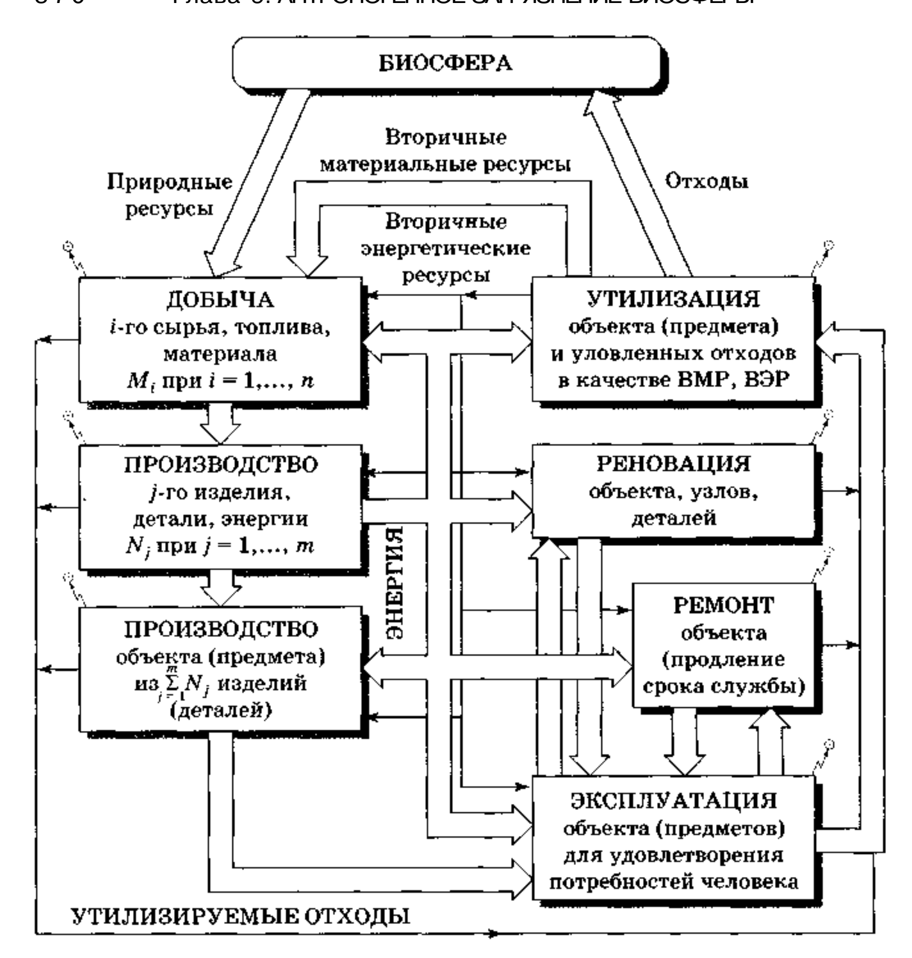


Рис. 9.1. Схема использования природных ресурсов при удовлетворении потребностей общества (по *Н. И. Николайкину):* неуловленное при очистке вещество и низкопотенциальная энергия, рассеивающиеся в окружающей среде

Перемещение с этапа на этап требует дополнительных транспортных затрат, вызывающих в свою очередь загрязнение биосферы отходами транспортных средств. В среднем в процессе ресурсного цикла по целевому назначению используется не более 5% добытого вещества (а зачастую не более 1%), остальные 95% (99%) так или иначе попадают обратно в окружающую среду в виде отходов, не удовлетворив никаких потребностей человека. Так, по данным Госкомэкологии РФ, в начале 90-х годов количество ежегодно извлекаемых природ-

ных ресурсов составляло 53 т на одного жителя России. Добыча и переработка этой массы сырья ежегодно требовала около 7000 кВт • ч электроэнергии и 800 т воды. В итоге в расчете на одного человека в год получалось 2—3 т конечной продукции, а остальная масса возвращалась в ОС в виде отходов.

Конечная продукция в свою очередь также является отходами, только отложенными во времени. Изготовленные изделия (машины, оборудование, предметы потребления), полученные химические соединения, все, что произвел человек, включая шедевры искусства и памятники истории, рано или поздно изнашивается, выходит из строя, разрушается и рассеивается в ОС. Вовлекаемые в ресурсный цикл вещества полностью возвращаются в окружающую среду. Однако замкнутость ресурсного цикла существенно отличается от замкнутости биогеохимического или биотического цикла.

Изъятый ресурс возвращается в биосферу в существенно измененном виде, в том числе с новым для природы сочетанием химических элементов. Такие соединения не могут быть ассимилированы в биосфере обычным путем. Кроме того, добытые для переработки природные ресурсы возвращаются не точно на место изъятия, а попадают в другие экологические системы; характерный пример — добыча фосфатов, их использование в качестве минерального удобрения и последующая эвтрофикация водоемов. Следовательно, антропогенный ресурсный цикл является главным источником загрязнения окружающей среды.

Ресурсный цикл (рис. 9.1) подобен пищевой (трофической) цепи в природных экосистемах и так же, как они, достаточно условен. Места добычи, производства, потребления и утилизации в этом цикле в большинстве случаев не совпадают, тогда как в природных экосистемах существуют не цепи, а разветвленные трофические сети. Благодаря этому обеспечивается наиболее эффективное использование всех ресурсов среды, в том числе происходит переработка отходов тут же на месте. В природе цепи трансформации всех веществ максимально замыкаются в циклы (круговороты) и понятия «загрязнение» не существует. Реализация ресурсного цикла в пределах одного предприятия невозможна даже теоретически[1]. В полной мере

[1] Подтверждением служит пример Робинзона Крузо, который, во-первых, не обошелся без инструментов и оружия со своего затонувшего корабля, а во-вторых, в конечном итоге создал условия жизни на уровне, никак не привлекающем современного человека.

это недостижимо и в рамках одного промышленного узла. Максимально возможное совершенствование ресурсного цикла (хотя очень далекое от уровня совершенства трофической сети) достигается при создании территориально-производственных комплексов (ТПК). В этом случае в производство вовлекается наибольшая часть комплексного потенциала сырья, включая вскрышные породы, образующиеся при добыче ископаемых, побочные продукты и отходы производства.

Основными направлениями совершенствования ресурсного цикла при некотором фиксированном уровне потребления общества являются:

- уменьшение потерь на этапах добычи и транспортировки ресурсов;
- разработка технологий, позволяющих использовать для производства (потребностей человека) максимально возможное количество компонентов извлекаемого сырья;
- уменьшение материалоемкости продукции, энергоемкости производства и эксплуатации продукции;
- увеличение срока службы изделий.

Совершенствование ресурсного цикла идет по пути создания новых технологий, оптимизации технических решений (в том числе оборудования), исходя из принципа минимизации экологического ущерба. Очевидно, что принципиально новые решения вызывают изменения на всех этапах ресурсного цикла. От одного и того же «усовершенствования» на разных этапах ресурсного цикла могут быть получены различные как по величине, так и по знаку экологические эффекты (или ущербы). Например, разработка и широкое внедрение нового хладагента велись 20—30 лет с целью замены в холодильных установках экологически очень опасного аммиака на инертное, нетоксичное, пожаробезопасное вещество. Изначально хлорфторуглероды (фреоны) казались идеальным решением проблемы, и лишь всестороннее изучение ресурсного цикла показало серьезную ошибочность этого вывода, ибо они оказались смертоносны для озонового слоя Земли.

Другой пример: экологически более чистые виды топлива, которые меньше загрязняют атмосферу при совершении такого же количества работы, выгодны для использования на транспорте, но не выгодны при производстве, так как требуют более сложной переработки углеводородного сырья, большего расхода энергии, а в результате становятся дороже.

Еще одним примером является происходящая в наши дни широкомасштабная компания по введению новых европейских стандартов на допустимые выбросы в атмосферу от автотранспорта. Двигатели внутреннего сгорания автомобилей — основные источники загрязнения атмосферы в городах и густонаселенных регионах. Принятые нормы допустимых выбросов автомобилей, введенные с 2000 г., столь высоки, что им удовлетворяют только лишь самые современные марки машин. При этом известно, что и эти марки совершенно бесперспективны для модернизации с целью соответствия уже принятым европейским нормам 2005 г.

Таким образом, европейские страны в ближайшие годы сознательно идут на затраты (как экономические, так и экологические), связанные с производством и практически полной заменой парка легковых и грузовых автомобилей, ради резкого снижения объема выбросов в атмосферу, гарантируемого новыми нормами. Аналогичное происходит и в авиадвигателестроении.

Современная экологическая экспертиза любых принимаемых решений обязательно должна быть всесторонней, учитывающей все возможные последствия для окружающей природной среды, человека, растительного и животного мира, биосферы в целом.

9.1. Антропогенное воздействие на биосферу

Человек, как и любой другой организм, с момента возникновения на Земле влиял на биосферу. Выделяют следующие основные этапы воздействия человека на окружающую среду:

- влияние на биосферу как биологического вида;
- сверхинтенсивная охота без изменения экологических систем в целом (в период становления человечества);
- изменение экосистем через естественно идущие процессы: пастьбу, усиление роста трав путем их выжигания и т. п.;
- усиление влияния путем распашки земель и вырубки лесов;
- глобальное изменение структурных компонентов наиболее крупных экосистем, биомов и биосферы в целом.

Последний этап начался примерно 250 лет назад. Источниками антропогенного воздействия на биосферу, а следовательно, и загрязнения являются промышленные предприятия, транспорт, сельское хозяйство, сфера потребления и быта — любая деятельность современного человека.

Воздействие на биосферу современного человека происходит по следующим основным направлениям:

- изменение структуры земной поверхности (распашка земель, горнодобыча, вырубка лесов, осушение болот, создание искусственных водоемов и водотоков и т. п.);
- изменение химического состава природной среды, круговорота и баланса веществ (изъятие и переработка полезных ископаемых, размещение отходов производства в отвалах, на полигонах, в атмосферном воздухе, водных объектах);
- изменение энергетического (в частности, теплового) баланса в пределах как отдельных регионов земного шара, так и на планетарном уровне;
- изменения в составе биоты (совокупности живых организмов) в результате истребления одних видов животных и растений, создания других видов (пород), перемещения их на новые места обитания (интродукция).

По состоянию на конец XX в. среди существующих источников воздействия выделяют:

- *главные источники антропогенного загрязнения воздуха:* энергетику, транспорт, черную и цветную металлургию, химию и нефтехимию;
- *основные загрязнители гидросферы:* предприятия целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, химической, пищевой и легкой промышленности. В последнее время значительно увеличилась доля загрязнений, поступающих в водоемы от индустриального сельского хозяйства;
- *основная масса промышленных твердых и жидких отходов* образуется на предприятиях горнодобычи и горнопереработки, энергетики, металлургической и химической отраслей промышленности.

Твердые отходы, поступающие в окружающую среду, подразделяют на сельскохозяйственные, промышленные и бытовые. Утилизация твердых бытовых отходов повсеместно затруднена.

9.1.1. Воздействие на атмосферу

Воздух как природный ресурс представляет собой общечеловеческое достояние. Постоянство его состава (чистота) — важнейшее условие существования человечества. Поэтому любые изменения состава рассматриваются как загрязнение атмосферы.

Основными ингредиентами загрязнения атмосферы являются оксиды углерода (CO), азота ($N0_x$) и серы (SO^.), углеводороды (^ H ^) и взвешенные частицы (пыль).

Загрязняющие вещества, выброшенные в воздушный бассейн в виде газов или аэрозолей, могут:

- оседать под действием силы тяжести (крупнодисперсные аэрозоли);
- физически захватываться оседающими частицами (осадками) и поступать в лито- и гидросферу;
- включаться в биосферный круговорот соответствующих веществ (углекислый газ, пары воды, оксиды серы и азота и пр.);
- изменять свое агрегатное состояние (конденсироваться, испаряться, кристаллизоваться и т. п.) или химически взаимодействовать с другими компонентами воздуха, после чего пойти одним из вышеуказанных путей;
- находиться в атмосфере относительно длительное время, переносясь циркуляционными потоками в различные слои тропо- и стратосферы и в разные географические области планеты до тех пор, пока не создадутся условия для их физической или химической трансформации (например, фреоны).

Сводные данные о количестве наиболее распространенных выбросов (табл. 9.1) показывают, что их основная часть приходится на промышленно развитые страны Северной Америки и Европы и в меньшей степени Азии. Динамика изменения объемов антропогенных выбросов в мире в конце XX в. приведена на рис. 9.2.

В результате антропогенного воздействия на атмосферу возникают:

- локальная или региональная загазованность приземного слоя;
- трансграничный перенос загрязнений на значительные расстояния;

Таблица 9.1

Выбросы загрязняющих веществ по группам стран

Континенты	Количество веществ, млрд т в год				
	CO	NO_x	C_nH_m	SO_x	Взвешенные вещества
Северная Америка	77,3	11,3	9,05	18,1	5,9
Южная Америка	9,05	**1,2**	1,1	1,8	1,2
Европа	21,4	**7,7**	2,6	21,6	6,7
Азия	8,5	**3,3**	1,3	**7,5**	4,3
Африка	2,5	0,75	0,3	**1,6**	0,4
Австралия и Океания	2,4	0,7	0,3	**2,1**	0,35

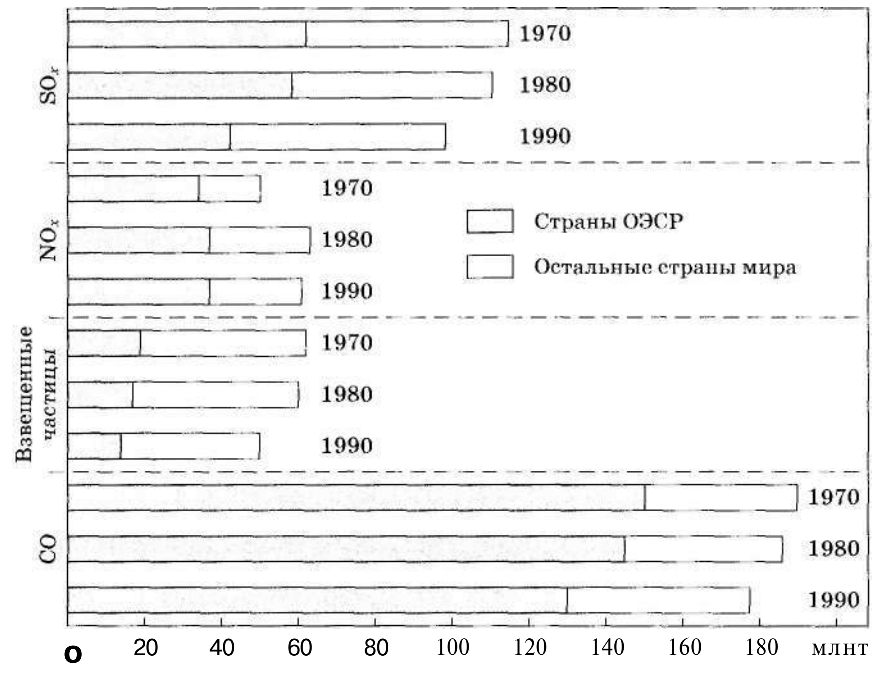


Рис. 9.2. Выбросы в атмосферу (млн т/г.) оксидов углерода, серы, азота и взвешенных частиц в 1970—1990 гг. по данным UNEP; ОЭСР — Организация экономического сотрудничества и развития; ЮНЕП (UNEP) — Программа ООН по проблемам окружающей среды (United Nations Environmental Program)

• различные глобальные (общепланетарные) эффекты, такие, как «парниковый эффект» и разрушение озонового слоя;
• загрязнение лито- и гидросферы как результат процессов естественного самоочищения атмосферы.

9.1.1.1. Загрязнение парниковыми газами

К настоящему времени деятельность человека значительно влияет на состав воздуха планеты и приводит прежде всего к созданию парникового эффекта, т. е. к увеличению содержания в нем парниковых газов. Эти газы, будучи прозрачными для коротковолновых солнечных лучей, плохо пропускают длинноволновые излучения, уходящие обратно в космическое пространство. В результате нижний слой атмосферы и поверхность Земли нагреваются. Рост средней температуры за последние полтора века показан на рис. 9.3.

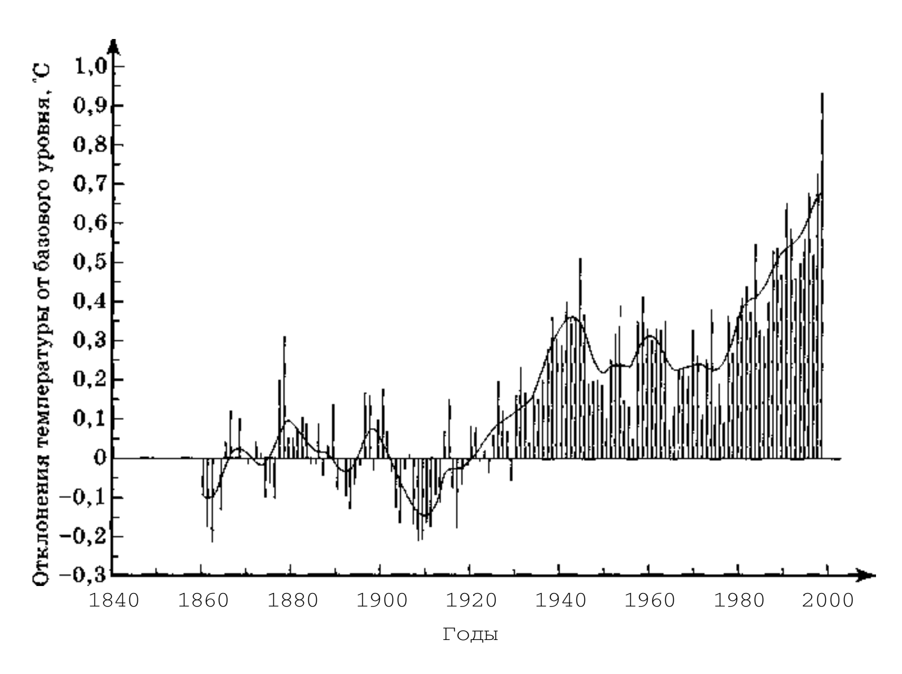


Рис. 9.3. Динамика изменения средней глобальной температуры у поверхности Земли за 1860—1998 гг. по данным Британского метеорологического общества. Столбиками показана средняя ежегодная температура воздуха у поверхности Земли в соответствующем году, а кривой — температура, усредненная по пятилетиям

Основной примесный газ, создающий парниковый эффект, — диоксид углерода ($C0_2$), содержание которого за предыдущие 150 лет заметно изменилось (рис. 9.4, *а).* Причинами роста концентрации $C0_2$ в атмосфере являются выброс диоксида углерода промышленными предприятиями, работающими на углеводородном сырье (топливе), а также снижение интенсивности его поглощения биотой наземных экосистем, прежде всего лесами (фотосинтез).

Другим газом, создающим парниковый эффект на планете, является метан. Рост его концентрации в воздухе подтвержден экспериментально путем анализа пузырьков газа в полярных льдах (рис. 9.4, *б).* Основная природная причина образования метана — деятельность особых бактерий, разлагающих в анаэробных условиях (без доступа кислорода) углеводы. Это происходит прежде всего на болотах и в пищеварительном тракте животных. Метан образуется в кучах компоста, на свалках, рисовых полях (везде, где вода и грязь изолируют остатки растений от доступа воздуха), а также при добыче ископаемого топлива.

Метан в основном окисляется в тропосфере, однако небольшая его часть все-таки достигает стратосферы, где он положительно влияет на природные процессы, ибо взаимодействует с атомарным хлором (виновником разрушения озонового слоя):

$$CH_4 + Cl \qquad CH_3 + HCl$$

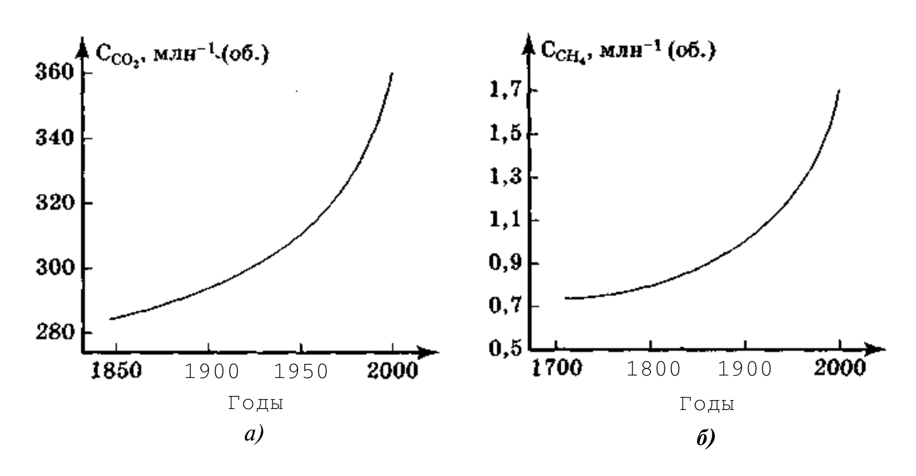


Рис. 9.4. Изменение концентрации диоксида углерода в атмосфере (а) и метана в полярных ледниковых пузырьках по годам образования льда *(б)*

Помимо диоксида углерода и метана к парниковым газам относятся хлорфторуглероды (фреоны) и их заменители, гемооксид азота и гексафторид серы (табл. 9.2)[1].

В целом наличие такого явления, как парниковый эффект, для биосферы полезно. Полное отсутствие этих газов в атмосфере привело бы к снижению температуры у поверхности Земли примерно на 30—33 °С, и она, как и Луна, была бы бесплодна, сильно нагреваясь днем и переохлаждаясь ночью. В то же время, имей Земля атмосферу Венеры (более чем на 95% состоящую из $C0_2$), парниковый эффект привел бы к такому сильному перегреву, что жизнь также была бы невозможна.

Изменения концентрации парниковых газов и температуры у земной поверхности (и даже весьма значительные, например, в ледниковые периоды) уже происходили на нашей планете (рис. 9.5). Так, вследствие вулканической деятельности и крупных лесных пожаров резко увеличивалась концентрация $C0_2$, что приводило, и не раз, к природным экологическим кризисам и катастрофам.

Современное потепление как следствие парникового эффекта — проблема не новая. Еще в 1827 г. французским уче-

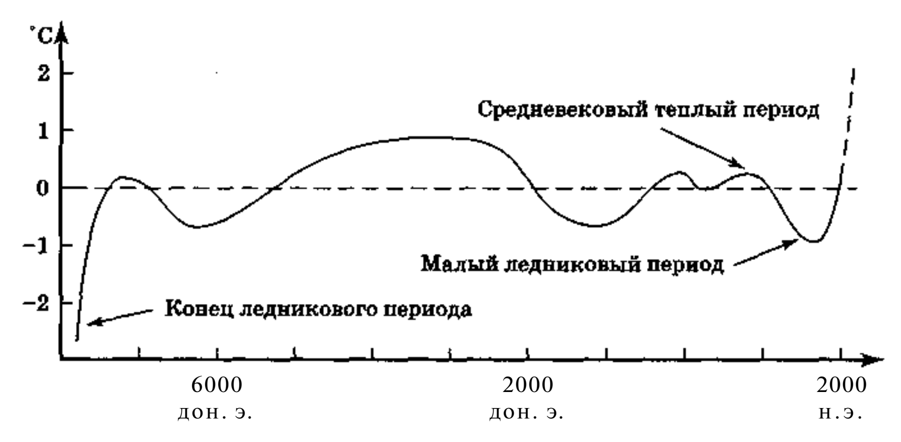


Рис. 9.5. Колебания средней температуры на нашей планете за последние 10 тыс. лет: *1* — конец ледникового периода; *2* — малый ледниковый период; *3* — средневековый теплый период; за 0° принята современная температура у поверхности Земли

[1] Парниковый эффект также создается парами воды, однако их содержание в атмосфере определяется прежде всего процессами общепланетарного круговорота воды. Современным человеком эти процессы не могут регулироваться, поэтому в рассматриваемой проблеме пары воды даже не упоминаются.

ным Ж. Фурье было высказано предположение, что атмосфера влияет на температуру поверхности Земли по-разному, пропуская излучения с разной длиной волны. В конце XIX в. шведский ученый Аррениус пришел к выводу, что следствием увеличения выброса предприятиями диоксида углерода в период промышленной революции будет изменение его концентрации в атмосфере и рост приземной температуры. В отличие от случавшегося на Земле ранее современная ситуация уникальна особо быстрым нарастанием негативных процессов — все может произойти за какие-то 100—200 лет.

Таблица 9.2

Основные парниковые газы и их влияние на глобальное потепление (по материалам конференции в Киото, 1997)

Газ	**Основные источники**	**Доля в сумме парниковых газов на 1990 г.**	**Время пребывания, лет**	**Потенциал глобального потепления'**
Диоксид углерода ($C0_2$)	Сжигание ископаемого топлива (77%); вырубка лесов (23%)	81,2	Различное, в основном около 100	**1**
Метан (CH_4)	Рисовые плантации; утечки при добыче и транспортировке ископаемых видов топлива; жизнедеятельность животных; гниение на свалках	13,7	9—15	**21**
Гемиоксид азота (N_20)	Производство удобрений; сжигание ископаемого топлива; сельскохозяйственное возделывание земли	**4,0**	120	310

Окончание таблицы 9.2

Газ	Основные источники	Доля в сумме парниковых газов на 1990 г.	Время пребывания, лет	Потенциал глобального потепления'
Хлорфторуглероды (ХФУ или фреоны) и родственные газы**	Использование в качестве хладагентов, растворителей, вспенивателей, основы аэрозолей	0,29	2600—50 000	3800 и более
Хлорфторуглеводороды (ХФУВ)***	Использование в качестве заменителей ХФУ (фреонов)	0,56	1,5—264 (наиболее характерный 14,6)	140—11 700 (наиболее характерный 1300)
Гексафторид серы (SF_6)***	Производство электроники и изоляционных материалов	0,30	3200	23 900

Потенциал глобального потепления *(Global warming potential)* характеризует «разогревающее» воздействие молекулы парникового газа относительно молекулы диоксида углерода. Эти оценки потенциалов использовались для расчетов перед подписанием Киотского протокола.

** Со времени подписания Монреальского соглашения эти газы быстро заменяются на ХФУВ, но, попав в атмосферу ранее, они будут присутствовать в ней еще долго.

* Выбросы этих газов пока невелики, но их объемы постоянно возрастают.

Количество $C0_2$ в атмосфере при современных темпах потребления человеком ископаемого топлива удваивается каждые 23 года, что может привести к потеплению климата уже к 2025 г. на 1 °С и к концу начавшегося столетия — на 2 °С (с учетом фактора неопределенности — на 1—3,5 °С). Из-за инерционности глобальных процессов потепление продолжится еще несколько десятилетий даже при стабилизации содержания парниковых газов в атмосфере.

На основании расчетов, проведенных с использованием климатических моделей, сделан вывод, что если не принять

меры по прекращению выбросов парниковых газов, то уровень моря на Земле поднимется примерно на **200** мм к **2030** г. и на **600—1000** мм к концу столетия. Это произойдет в результате увеличения объема воды из-за нагрева и таяния снегов.

Повышение уровня моря на **300—500** мм вызовет серьезные проблемы в странах, расположенных в низменных районах, и в ряде крупных городов, таких, как Амстердам, Венеция, Рио-де-Жанейро, Санкт-Петербург. Дальнейший подъем уровня моря (на 1 м выше современного) затронет человеческое сообщество значительно сильнее: море затопит арабские страны, зальет около 15% площади Египта, до 4% урожайной земли Бангладеш, засолит пресноводные прибрежные акватории и загрязнит воду в системах водоснабжения у берегов.

Таяние вечной мерзлоты может привести к разрушению всего, что создано человеком на ее поверхности. Увеличатся интенсивность и частота экстремальных явлений природы — ураганов,засух.

По прогнозам ученых, общее потепление во много раз превысит адаптационные способности многих природных сообществ. Парниковый эффект может привести к быстрой гибели лесов и отдельных видов животных, смещению географических зон — к сокращению территорий, пригодных для жизни растений, животных и людей. По некоторым оценкам, до трети всех наземных экосистем могут начать меняться и переходить в другой тип: например, леса — в степи, тундры — в леса и т. п.

Одновременно со всплеском гибели привычной человеку биоты будут возникать новые виды, для которых подобные условия станут благоприятными. В итоге Природе гибель не грозит, проблема в том, сможет ли Человек выжить в новых условиях, а если сможет, то какой ценой?

Киотский протокол. Проведенный в 1957 г. Международный геофизический год позволил международному научному сообществу создать широкую сеть станций по наблюдению за окружающей средой — основу для понимания планетарных процессов и влияния на них антропогенной деятельности. Исследования сразу же выявили непрерывное повышение содержания $C0_2$ в атмосфере. В итоге уже в **1970** г. в отчете Генерального секретаря **ООН** упоминается о возможности «катастроф, связанных с потеплением».

Обеспокоенность мирового сообщества данной проблемой привела к разработке и принятию в 1992 г. в Рио-де-Жанейро Международной Рамочной Конвенции **ООН** по изменению кли-

мата (см. разд. 10.7.3). В декабре 1997 г. в Киото[1] (Япония) на Конференции сторон этой конвенции был подписан протокол к Конвенции, установивший для промышленно развитых государств-участников четкие лимиты (количественные обязательства) по сокращению выбросов $C0_2$ относительно базового 1990 г.

Цель соглашения в Киото — добиться совокупного сокращения к 2008—2012 гг. соответствующих выбросов по крайней мере на 5%, для чего члены Европейского союза и Швейцария должны в оговоренные сроки снизить выбросы на своей территории на 8%, США — на 7%, Япония — на 6% в год. Обязательства на последующие периоды времени Стороны Конференции договорились обсудить не позднее 2005 г.

Киотский протокол предусматривает реализацию ряда совместных программ, в частности создание уникального механизма торговли квотами[2], заключающегося в том, что Стороны протокола могут перераспределять между собой (например, перепродавать) разрешенные им в течение определенного срока объемы выбросов.

В России выбросы парниковых газов в конце 90-х годов прошлого века не превышали допустимого уровня и снижения не требовалось, в конце 1998 г. общий выброс в атмосферу составил всего 70% от уровня базового 1990 г. Прогноз, выполненный по инициативе Всемирного банка, показал, что к 2010 г. выброс этих газов составит 96% от базового, а при внедрении энергосберегающих технологий — только 92%. Экономический кризис и спад производства в России в конце XX в. позволяет ей иметь неиспользованные квоты на выброс диоксида углерода примерно в количестве 250 млн т/г. Кроме того, в России в настоящее время существует 119,2 млн га земель, покрытых лесом, а, как известно, 1 га леса связывает 1,5 т углерода[3] в год. Следовательно, только за счет лесопоса-

[1] Ход реализации Рамочной Конвенции ООН «Об изменении климата» обсуждается на ежегодно созываемых международных конференциях. Соответствующие заседания прошли в Берлине (1995), Женеве (1996), Киото (1997), Буэнос-Айресе (1998), Бонне (1999), Гааге (2000); заседание в Гааге было прервано из-за серьезных противоречий между участниками), Найроби (2001).

[2] Квота (от лат. *quota)* — часть, приходящаяся на каждого.

[3] Термин «углерод» широко используется как синоним диоксида углерода в международных дискуссиях по глобальной климатической проблеме, при этом имеется в виду количество $C0_2$ в пересчете на углерод (44 т СО, эквивалентны 12 т углерода).

док в России за год может быть связано до 178,8 млн т углерода.

Россия пока не ратифицировала Киотский протокол, между тем участие в решении глобальной климатической проблемы нашей стране чрезвычайно выгодно, ибо в Киото за точку отсчета был взят 1990 г., когда выбросы России были максимальны. Поэтому участие в «общем деле» не только не потребует денежных затрат, но будет прибыльным.

Дело в том, что по расчетам затраты на выполнение Киотских обязательств на национальном уровне для большинства стран составляют 20—60 долл. США за тонну $C0_2$ (или 80—200 долл. США в пересчете на 1 т углерода). Таким образом, даже по самым пессимистическим прогнозам, торговля излишками квот на выброс парниковых газов может давать около 10 долл. США за тонну. В сложившейся ситуации Россия претендует на ведущую роль на формирующемся международном «рынке углерода». Кроме того, свободный доступ к международным программам и фондам может дать возможность в значительной мере решить отечественные проблемы энергоэффективности, энергоснабжения и адаптации к новым климатическим условиям за счет международных средств, причем не взятых в долг, а фактически безвозмездных.

По оценкам UNDP, всего через несколько десятилетий изменения климата могут принести странам бывшего СССР годовой ущерб свыше 20 млрд долл. США, в том числе, по расчетам Всемирного фонда охраны дикой природы (WWF), ущерб России составит 5—10 млрд/г. При этом ущерб США (а также стран Европейского Союза) будет почти в 10 раз больше ущерба России. Тем не менее следует четко понимать, что для нашей страны грядущие изменения климата — это не только и не столько мягкое и постепенное потепление. Цена этого явления заключается также и во вторичных негативных эффектах, сила которых намного превысит «приятные нам» последствия.

В случае правильности прогнозов от потепления легче станет только энергетике России, а сельское хозяйство из-за резких заморозков и оттепелей может проиграть больше, чем выиграть от увеличения средней температуры. Вторичными эффектами будут: повышение смертности вследствие резких скачков температуры, увеличение лесных пожаров, таяние вечной мерзлоты, деградация экосистем, сокращение запасов

пресной воды, новые для нас болезни[1], а также непредсказуемая пока иммиграция в Россию из стран с катастрофическими изменениями климата и многое другое, трудно прогнозируемое.

Одна из причин современных бурных политических дебатов по проблеме парникового эффекта — неравномерный вклад государств (особенно развитых, с одной стороны, и развивающихся — с другой) в это «общее дело» (рис. 9.6). В развитых странах выбросы соответствующих газов, приходящиеся на душу населения, в среднем в 10 раз больше, чем в странах третьего мира (особенно Азии и Африки). Да и развитые страны по этому показателю неодинаковы — удельные выбросы в Европе и Японии составляют только половину от показателей США, Канады или Австралии. Поэтому действительно трудно и даже бессмысленно требовать от развивающихся стран контролировать и ограничивать их выбросы в атмосферу до того, как развитые страны не займутся всерьез собственным самоограничением.

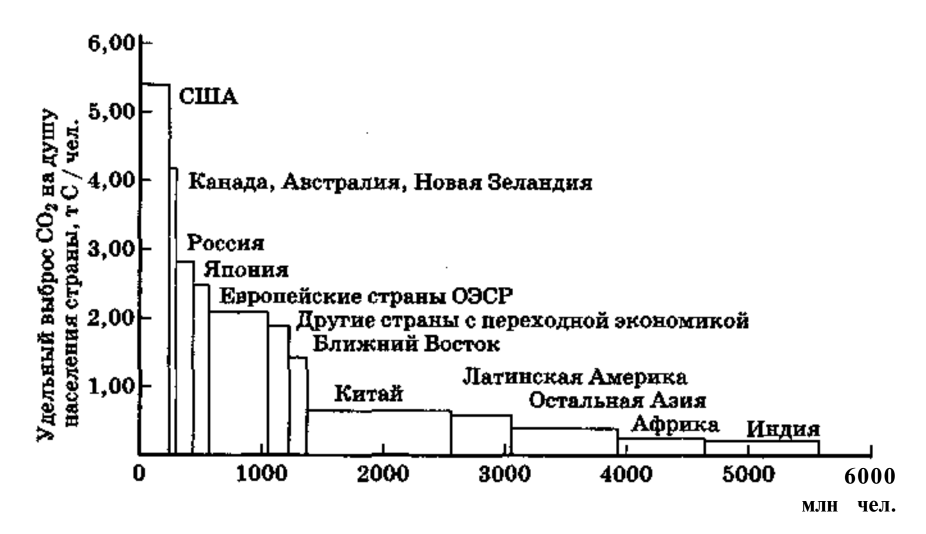


Рис. 9.6. Распределение по странам и группам стран удельного (на душу населения) выброса $C0_2$ в пересчете на углерод

[1] В первую очередь это, вероятно, распространение передающихся паразитами таких инфекционных болезней, как малярия, лихорадка денге и желтая лихорадка. По прогнозам, в зоне распространения малярии будет проживать уже 60% мирового населения, а не 45%, как в настоящее время.

В то же время решить проблему без участия развивающихся стран невозможно, ибо в ближайшие десятилетия самые крупные из них могут так значительно увеличить выбросы в атмосферу, что все усилия развитых стран будут сведены на нет.

Существуют и иные, частные, но достаточно обоснованные противоречия. Так, многие развивающиеся страны полагают, что при учете объемов выбросов парниковых газов их следует относить не на счет стран, с территории которых они (выбросы) производятся, а на счет стран, предприниматели которых поощряют эти выбросы. Причина в том, что фирмы развитых государств из-за более дешевой рабочей силы и менее жестких экологических ограничений стремятся свои производственные мощности размещать в Африке, Латинской Америке, Азии, а продукцию и доходы возвращать в свои страны, обеспечивая исключительно высокий уровень жизни. При таком подходе рост содержания $C0_2$ в атмосфере, вызванный рубкой тропических лесов для поставок в Японию или США, вполне логично было бы записывать на счет этих стран, а не на счет Малайзии или Бразилии, чьи леса вырубались.

Борьба за ратификацию Киотского протокола проходит в непростых условиях в ряде стран, включая европейские.

Тем не менее в марте 2002 г. министры охраны окружающей среды Европейского Союза (ЕС) единогласно пришли к соглашению, обязывающему все страны — члены ЕС ратифицировать Киотский протокол, как это уже сделали четыре страны ЕС. Планируется предпринять все необходимые меры для вступления Киотского протокола в силу во время проведения Всемирного саммита по устойчивому развитию в Йоханнесбурге осенью 2002 г.

При этом центральное место на переговорах по глобальным климатическим изменениям занимают США не столько из-за политического или экономического веса, сколько из-за доли выбросов в атмосферу планеты; вклад этой страны составляет 25% , так что любые международные соглашения без их участия почти бессмысленны. В отличие от европейских стран США крайне осторожны и неактивны, что связано с ценой, которую они должны будут заплатить за снижение выбросов $C0_2$.

Протокол, который был выработан в соответствии с пожеланиями прежде всего США, неожиданно оказался на грани провала из-за того, что США могут отказаться его ратифицировать. Так, одним из первых наиболее важных заявлений Дж. Буша, сделанных в начале 2001 г., было заявление о ре-

шении США «выйти» из Киотского протокола, подписанного Б. Клинтоном. Причина в том, что экономика США опирается на собственные, пока кажущиеся безграничными, дешевые ресурсы ископаемого топлива. Существует мнение, что снижение выбросов $C0_2$ в США потребует больших финансовых вложений либо приведет к резкому, кажущемуся неприемлемым для американцев ограничению уровня их жизни (потребления). Поэтому сотни миллионов долларов тратятся на научные исследования, направленные на поиск обоснований ошибочности выводов о причинах начавшихся глобальных изменений климата[1] и необходимых действиях международного сообщества. Корни зла США видят не в собственном энергопотреблении, а в частности, в вырубке тропических лесов[2], в увеличении площадей рисовых плантаций, в росте народонаселения и экономическом развитии стран третьего мира.

Юридически Киотский протокол может вступить в силу и без ратификации США, но для его реализации участие этой страны, причем активное, является важным.

Результаты комплексных исследований и прогнозирование развития ситуации в XXI в. показывают, что даже полностью выполненные обязательства, принятые по Киотскому протоколу, смогут повлиять на изменения климата намного меньше, чем требуется. Концентрация парниковых газов будет продолжать увеличиваться. Поэтому всем странам необходимо в той или иной степени готовиться к приспособлению к неизбежным изменениям климата.

> Мир начал многообещающий и трудный проект, который поможет в решении самой опасной для человечества экологической проблемы, и пути назад нет.
>
> Хотя выполнение Киотских договоренностей приведет лишь к достаточно скромным экологическим успехам, но в любом случае это хорошее начало.

Существуют различные гипотезы. Группа ученых, среди которых есть и наши соотечественники, объясняет потепление обычными колебаниями климата (рис. 9.6). Так, по их мнению, в конце XX в. завершился очередной малый ледниковый период, пик которого имел место в XVII в., и рост концентрации $C0_2$ — это следствие, а не причина потепления. Существуют и иные гипотезы, опровержение либо подтверждение которых возможно лишь в будущем.

[2] В Киотском протоколе применяется термин «обезлесивание».

9.1.1.2. Разрушение озонового слоя

Общее количество озона в атмосфере не велико, тем не менее озон — один из наиболее важных ее компонентов. Благодаря ему смертоносная ультрафиолетовая солнечная радиация в слое между 15 и 40 км над земной поверхностью ослабляется примерно в 6500 раз. Озон образуется в основном в стратосфере под действием коротковолновой части ультрафиолетового излучения Солнца. В зависимости от времени года и удаленности от экватора содержание озона в верхних слоях атмосферы меняется, однако значительные отклонения от средних величин концентрации озона впервые были отмечены лишь в начале 80-х годов прошлого века. Тогда над южным полюсом планеты резко увеличилась **озоновая дыра**[1] — область с пониженным содержанием озона. Осенью **1985** г. его содержание снизилось относительно среднего на 40%. Уменьшение содержания озона наблюдалось и на других широтах. В частности, на широте Москвы оно составило около 3% .

Уменьшение «толщины» озонового слоя приводит к изменению (увеличению) количества ультрафиолетового излучения Солнца, достигающего поверхности Земли, нарушению теплового баланса планеты. Изменение интенсивности солнечного излучения заметно влияет на биологические процессы, что в конце концов может привести к критическим ситуациям. С увеличением доли ультрафиолетовой составляющей в излучении, доходящем до поверхности планеты, связывают рост числа раковых заболеваний кожи у людей и животных. У человека это три вида быстротекущих раковых заболеваний: меланома и две карценомы.

Установлено, что увеличение дозы ультрафиолетового излучения на 1% приводит к увеличению раковых заболеваний на 2%. Однако у жителей высокогорных районов, где интенсивность излучения в несколько раз выше, чем на уровне моря, рак крови встречается реже, чем у жителей низменностей. Это противоречие пока объясняют тем, что не столько увеличился уровень облучения, сколько изменился образ жизни лю-

[1] По современным данным, озоновая дыра существовала практически всегда, то появляясь время от времени, то исчезая в соответствии с сезонными изменениями в состоянии атмосферы. В начале 80-х годов прошлого века было установлено, что произошли серьезные изменения в динамике этого явления — «дыра» перестала восстанавливаться до исходного состояния. Таким образом, природные колебания концентрации озона в стратосфере усложнились из-за антропогенного воздействия.

дей, которые стали значительно больше времени проводить на солнце. В то же время жесткое (A < 320 нм) ультрафиолетовое излучение относится к числу ионизирующих излучений, а следовательно, является мутагенным фактором среды обитания.

Среди катализаторов разложения озона наиболее роль принадлежит оксидам азота:

$$NO + 0_3 = N0_2 + 0_2$$
$$N0_2 + 0 = NO + 0_2$$

$$0_3 + O = 20_2 - 391 \text{ кДж/моль},$$

а также атомам хлора:

$$Cl + 0_3 = СЮ + 0_2$$
$$СЮ 4- O = 0_2 + Cl$$

В качестве катализатора реакции разложения озона может служить OH-радикал, образующийся с участием паров воды:

$$OH + O_3 = O_2 + HO_2$$
$$HO_2 + O = O_2 + OH$$

По расчетам одна молекула хлора способна разрушить до 1 млн молекул озона в стратосфере, а одна молекула оксида азота — до 10 молекул 0_3. Феномен антарктической «озоновой дыры» по одной из теорий объясняется воздействием хлорфторуглеродов (фреонов) антропогенного происхождения. Так, измерения показали почти двукратное превышение фоновых концентраций хлорсодержащих частиц в зоне антарктической «дыры» и наличие в весенние месяцы в стратосфере над Антарктидой областей почти без озона.

Природной причиной разрушения озонового слоя из-за поступления в стратосферу атомарного хлора является хлорметан (CHgCl) — продукт жизнедеятельности организмов в океане и лесных пожаров на суше. В то же время достоверно установлено, что в результате деятельности человека в атмосфере появился значительный избыток азотных и галогеноуглеродных соединений.

Оксиды азота антропогенного происхождения образуются из азота и кислорода воздуха при высоких температурах (начиная с 1000 °С и выше) в присутствии катализаторов, в качестве которых выступают различные металлы. Такие условия складываются при сжигании топлив, причем чем выше температура процесса горения, тем больше образуется оксидов азота (N0^.). Наиболее подходящие условия для образования оксидов азота

имеются в современных двигателях, в том числе у воздушных судов, давно освоивших как тропосферу, так и стратосферу.

Кроме того, зона стратосферы, где находится озоновый слой, подвергается воздействию ракетной техники. Принципиально новые проблемы возникают при использовании ракетоносителей, в первую очередь на твердом топливе, так как оно содержит много соединений хлора и азота. При подъеме на высоту 50 км при общей массе полезного груза 29,5 т для ускорителей американского «Спейс шатл» количество отходов, наиболее опасных для озонного слоя, составляет, т:

хлор и его соединения 187
оксиды азота (NO_x) 7
оксиды алюминия (в виде аэрозолей) 177

Согласно оценкам экспертов Всемирной метеорологической организации, при уровне поступления в атмосферу фреонов, имевшемся в начале 90-х годов, концентрация озона в стратосфере через 15—20 лет должна уменьшиться на 17%, после чего стабилизироваться. При этом климат у поверхности Земли должен измениться незначительно, а уровень ультрафиолетового излучения — возрасти на треть.

Атомарный хлор образуется в стратосфере в результате фотохимического разрушения хлорфторуглеродов (ХФУ), или фреонов, или хладонов CF_2Cl_2 и $CFCl_3$. Эти вещества летучи и устойчивы в тропосфере. Однако в условиях стратосферы они начинают распадаться в связи с образованием свободных атомов галогенов.

Хлорфторуглероды являются очень стабильными веществами. Время их существования в атмосфере велико: многие десятилетия и даже столетия они долгое время широко применялись в аэрозольных баллончиках, холодильных и иных установках. Хлорфторуглерод «Хладон 12» (CCl_2F_2) был специально подобран для замены токсичного и обладающего резким запахом аммиака, повсеместно применявшегося до того времени в холодильных агрегатах. Демонстрируя в 1930 г. новый хладагент в Американском химическом обществе, американский инженер Томас Мидгли вдыхал его в себя и задувал им свечу. Тем самым подчеркивались два основных положительных качества «Хладона 12» — негорючесть и нетоксичность[1]. Кроме всего, это соединение коррозионно пассивно.

[1] Среди вредных веществ, включенных в ГОСТ 12.1.005-88, выделятся фреоны с максимальными значениями ПДК рабочей зоны, равными 1000—5000 мг/м^3.

«Хладон 12», а также и «Хладон 11» ($CC1_3F$) относятся к классу хлорфторуглеродов — веществ, состоящих из хлора, фтора и углерода. Этот класс включает в себя несколько соединений с различной температурой кипения, что позволяет легко подобрать конкретное вещество для решения разнообразных задач: создания холодильного агрегата или автомобильного кондиционера; очистки поверхности печатных плат для изделий микроэлектроники; аэрозольного распыления косметических или иных средств из «аэрозольных баллончиков»; вспенивания сырья при изготовлении изделий из пластмасс; пожаротушения и пр. К ХФУ также относятся метилхлороформ (CHgCClg), четыреххлористый • углерод ($CC1_4$) и талоны[1]. После того как выяснилось, что ХФУ столь губительны для стратосферного озона, было предложено использовать заменители — хлорфторуглеводороды (ХФУВ) и фторуглеводороды (ФУВ), имеющие в составе своих молекул атом водорода, химическая связь с которым менее прочная. Эта особенность снижает стойкость соединения, и оно может разрушаться уже в тропосфере, а не только когда попадает в стратосферу.

Понимая остроту и сложность этой неожиданно возникшей перед человечеством глобальной экологической проблемы, участники международных переговоров в Вене в марте 1985 г. подписывают «Венскую конвенцию по охране озонового слоя», призывающую страны к проведению дополнительных исследований и обмену информацией по сокращению озонового слоя. Однако они не смогли прийти к согласию о единых международных мерах ограничения производства и выбросов ХФУ.

В 1987 г. на международной встрече в Монреале 98 стран заключили соглашение (Монреальский протокол) о постепенном прекращении производства ХФУ и запрещении выбросов их в атмосферу. В 1990 г. на новой встрече в Лондоне ограничения были ужесточены — около 60 стран подписали дополнительный протокол с требованием полностью прекратить производство ХФУ к 2000 г.

В связи с тем что подобные ограничения затрагивали экономические интересы стран, был организован специальный фонд для помощи развивающимся странам по выполнению

[1] Талоны — бромфторуглероды (CF_gBr; CF_2BrCl; $C_2F_4Br_2$), использующиеся в огнетушителях, а также в некоторых видах военной техники, из-за чего информация о них крайне ограничена. Отличаются в несколько раз большей озоноразрушающей способностью, хотя используются в относительно малых количествах.

требований Протокола. В частности, благодаря Индии было достигнуто отдельное соглашение о передаче этим странам передовых технологий для самостоятельного производства заменителей хлорфторуглеродов.

В нашей стране в мае 1995 г. принято постановление Правительства РФ № 526 «О первоочередных мерах по выполнению Венской конвенции об охране озонового слоя и Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой», а в мае 1996 г. — постановление Правительства РФ № 563 «О регулировании ввоза в Российскую Федерацию и вывоза из Российской Федерации озоноразрушающих веществ и содержащей их продукции».

К сожалению, расчеты показывают, что даже при успешном выполнении принятого графика реализации достигнутых соглашений содержание хлора в атмосфере вернется к уровню 1986 г. (когда впервые было выявлено антропогенное воздействие на озоновый слой) только лишь в 2030 г. Причина этого — миграция фреонов, уже попавших в атмосферу из ее нижних слоев в более высокие и большое время их «жизни» в природных условиях.

9.1.1.3. Кислотные осадки

При нормальном природном составе воздуха обычная дождевая вода имеет слабокислую реакцию (pH = 5,5... 5,6), что связано с хорошей растворимостью в ней $C0_2$ и образованием слабой угольной кислоты по реакции $C0_2 + H_20 => H_2C0_3 \longrightarrow$ $\longrightarrow HC0_3 + H^+$, а также с присутствием в атмосфере оксидов серы и азота либо хлористого водорода природного происхождения.

Однако физический захват (прилипание с возможным последующим растворением, абсорбция или адсорбция) оседающими частицами воды (осадками) различных химических веществ, присутствующих в атмосферном воздухе в избыточном количестве (преимущественно вследствие антропогенного происхождения), часто приводит к увеличению кислотности (уменьшению значения водородного показателя pH ниже 5,5), т. е. к образованию так называемых «кислотных» (или «кислых») осадков — дождя, тумана, росы, града, снега (рис. 9.7). Известен также «синдром кислотных частиц», при котором наблюдается оседание твердых частиц сульфатов $Me_x(S0_4)$, $Me(HS0_4)$ или нитратов $Me(N0_3)$ при отсутствии влаги с даль-



Рис. 9.7. Ориентировочная кислотность дождевой воды, воды и различных веществ, выраженная в единицах pH

нейшим их растворением в воде на непосредственно подстилающей поверхности с образованием кислот.

Основная причина образования и выпадения кислотных осадков (зачастую неточно называемых «кислотными дождями») — наличие в атмосфере оксидов серы и азота, хлористого водорода и иных кислотообразующих соединений. Считается, что преимущественно снижение величины pH вызвано выбросом в атмосферу серосодержащих загрязнений (-2/3) и соединений, содержащих азот (-1/3). Присутствие в воздухе заметного количества, например, аммиака или ионов кальция (Ca^{2+}) приводит к выпадению не кислых, а щелочных осадков. Однако их также принято называть кислотными, ибо они имеют «нестандартную» кислотность и при попадании на почву или в водоем соответственно меняют кислотность последних.

Диоксид серы $S0_2$ образуется в больших количествах при сжигании природных органических топлив (табл. 9.3). Среднее время жизни $S0_2$ в атмосфере составляет четверо суток. В воздухе он подвержен фотохимическим (под действием солнечного света) превращениям и дальнейшему окислению с образованием триоксида серы $S0_3$, гораздо более вредного для окружающей природной среды, чем исходный диоксид.

Таблица 9.3

Количество выбросов и источники образования атмосферных соединений серы

Источники	Количество выбросов в год	
	млн т	%
Природные:		
процессы разрушения биосферы	30—40	29—39
вулканическая деятельность	2	2
поверхность океанов	50—200*	
Антропогенные	60—70	59—69
ВСЕГО	92—112	100

Сульфаты в частицах соли над океанами. Из-за больших размеров они оседают и быстро возвращаются в океан, и лишь ничтожная доля серы попадает в верхние слои атмосферы или рассеивается над сушей. Кроме того, из сульфатов морского происхождения в воздухе не может образовываться серная кислота, поэтому для кислотных осадков они не существенны.

Соединяясь с парами воды, находящимися в воздухе, $S0_3$ образует серную кислоту H_2S0_4. Наибольшая кислотность наблюдается непосредственно после начала выпадения дождя или снега. В этот момент кислотность может быть значительно выше средней, но в процессе выпадения происходит самоочищение атмосферы и pH приближается к нормальному значению.

Считается, что среди кислотных осадков наиболее сильной кислой реакцией отличаются кислотные туманы. Так, в Гамбурге однажды была зафиксирована кислотность тумана ($pH < 2$) более высокая, чем у лимонного сока ($pH = 2,3$).

Явление «кислотности дождей» было впервые точно описано еще в середине XIX в. Дж. Смитом, предложившим соответствующий термин по результатам изучения химизма осадков в районе г. Манчестера (Англия). Во второй половине XX в. пропорционально растущим количествам выбросов оксидов серы и азота возросла и значимость последствий кислотных дождей, а в 70—80-е годы в промышленных регионах создалась ситуация, близкая к экологической катастрофе.

Антропогенные выбросы соединений серы и азота характерны практически для любого вида индустриальной деятельности, а их абсолютные потоки в конце XX в. стали сопоставимы с соответствующими геохимическими потоками, иногда даже (на региональном уровне) превышая их (табл. 9.3).

Основной источник оксидов серы — современная энергетика (теплоэлектростанции, работающие прежде всего на угле), а для оксидов азота — также и транспорт (рис. 9.8). По существующим оценкам около половины всей серы, поступающей в атмосферу с выбросами типичной электростанции, удаляется из атмосферы с осадками.

Кислотные осадки ускоряют процессы коррозии металлов, разрушения зданий, сооружений. Установлено, что в промышленных районах сталь ржавеет в 20 раз, а алюминий разрушается в 100 раз быстрее, чем в сельских районах. Многочисленны примеры начавшегося с середины XX в. разрушения памятников истории и культуры, изготовленных из природных минералов (мрамора, известняка и других, имеющих в своем составе $CaC0_3$ и $MgC0_3$).

Кислотные осадки представляют для человека опасность как при косвенном воздействии (путем изменения объектов окружающей среды), так и при непосредственном контакте. В середине XX в. произошла одна из первых масштабных экологических трагедий, истинная причина которой была достоверно зафиксирована — в Лондоне около 4 тыс. человек погибло от смеси

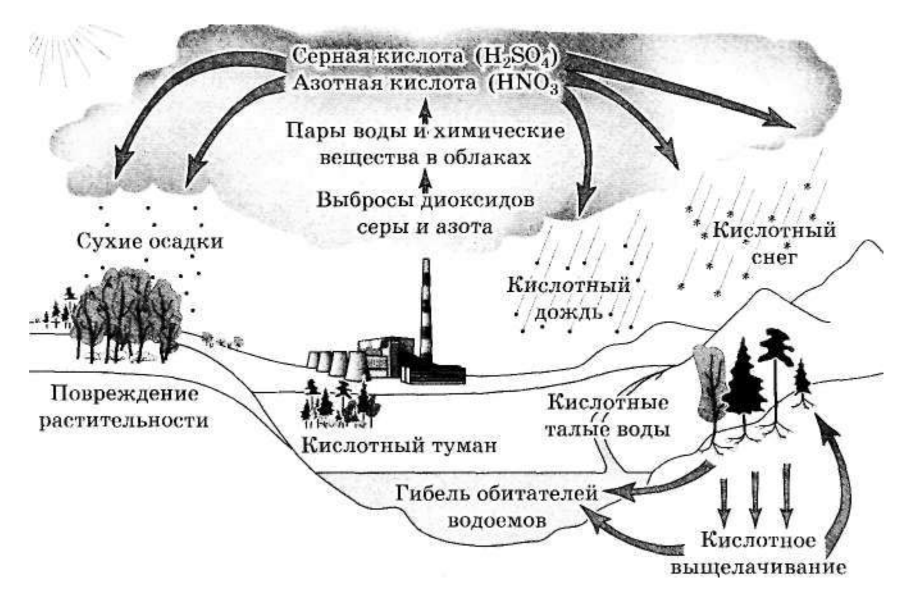


Рис. 9.8. Схема образования кислотных осадков и их многообразного воздействия на экосистемы (по *Б. Небелу)*

тумана с дымом — **смога** (от англ. *smoke* — дым и *fog* — туман). Эта наиболее крупная из известных до сих пор катастроф, связанных с загрязнением воздуха, которая унесла столько же жизней, сколько и последняя эпидемия холеры в 1866 г. 5 декабря 1952 г. почти над всей Англией возникла и сохранялась несколько дней подряд зона высокого давления и безветрия, сопровождавшаяся столь известным для этих мест густым туманом. В результате в воздухе возникла температурная инверсия, нарушившая нормальную вертикальную циркуляцию в атмосфере.

Туман сам по себе для организма человека не опасен, однако в условиях города, при непрекращавшемся поступлении дыма в приземные слои атмосферы в них скопилось несколько сотен тонн сажи (одного из виновников температурной инверсии) и вредных для дыхания человека веществ, главным из которых являлся сернистый газ.

Лондонский (влажный[1]) **смог** — это сочетание газообразных и твердых примесей с туманом — результат сжигания большого количества угля (или мазута) при высокой влажности атмосферы. Впоследствии в нем практически не образуется

[1] Сухой (фотохимический) смог (см. разд. 9.1.1.4).

каких-либо новых веществ. Таким образом, токсичность целиком определяется исходными загрязнителями.

Английские специалисты зафиксировали, что концентрация диоксида серы SO_2 в те дни достигала 5—10 мг/м^3 и выше при предельно допустимой концентрации (ПДК) этого вещества в воздухе населенных мест 0,5 мг/м^3 (максимально разовое значение) и 0,05 мг/м^3 (среднесуточное). Смертность в Лондоне резко возросла в первый же день катастрофы, а по прошествии тумана она снизилась до обычного уровня. Также было установлено, что прежде других умирали горожане старше 50 лет, люди, страдающие заболеваниями легких и сердца, а также дети в возрасте до одного года.

Можно сопоставить данные о загазованности в Лондоне в те печально знаменитые дни со значением ПДК = 10 мг/м^3 в воздухе рабочей зоны для диоксида серы. При таком значении ПДК здоровый работоспособный человек может трудиться «...ежедневно (кроме выходных) по 8 ч или иное время (но не более 41 ч в неделю) в течение всего рабочего стажа без заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений»[1].

Точные данные о событиях тех дней — результат того, что к этому времени исследования воздуха проводились уже несколько десятилетий, ибо проблема загазованности в Лондоне существовала с давних пор. Еще в XIII в., когда в окрестностях города начали исчезать леса, жители стали использовать каменный уголь, добывавшийся на морском побережье, плохо горевший и выделявший много дыма. Поэтому в 1273 г. в Англии был принят закон, запрещавший применение такого угля, что можно считать началом истории борьбы с загрязнением атмосферы.

В 1952 г. загрязнение воздуха Лондона от отопительных систем домов в несколько раз превышало объем загрязнений от промышленных предприятий, развитие которых в городской черте целенаправленно тормозилось английским законодательством к тому времени уже более 100 лет. Урок из трагедии 1952 г. был извлечен достаточно быстро. В 1956 г. был принят закон о чистоте воздуха, который стал строго соблюдаться, и к 1970 г. выброс сажи (виновника атмосферной

[1] Таково определение ПДК вредного вещества в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88.

инверсии) из отопительных систем домов удалось снизить в 13 раз, а из промышленных установок — в 6 раз. В результате от былых Лондонских туманов не осталось и следа. Отмечаются случаи, когда в центре города тумана меньше, чем в его окрестностях, хотя проблема загрязненности оксидами серы сохранилась.

Излишнее количество кислоты в почве ведет к ее закислению, нарушает биологическое равновесие. Кроме того, кислотами из почвы выщелачиваются тяжелые металлы, далее усваиваемые растениями. Последние передают повышенную дозу тяжелых металлов животным, через которых (или непосредственно из растений) они поступают в организм человека.

В регионах, где почва и дно водоема содержат значительные количества щелочных веществ (например, известняка), кислотные осадки не наносят большого вреда, поскольку нейтрализуются, например в соответствии с уравнением реакции

$$CaC0_3 + 2H+ -> Ca^{2+} + C0_2 + H_20$$

При этом известняк (карбонат кальция — $CaC0_3$) расходуется, выступая в качестве природного «буфера».

В других регионах, характеризующихся наличием преимущественно гранитов или иных силикатных пород, неспособных нейтрализовать доминирующие кислотные дожди, величина pH воды в озерах, реках, а также в лесных и сельскохозяйственных почвах понижается. Такие геологические условия характерны для маломощных ледниковых почв Скандинавии, южных районов Канады, северных районов Великобритании, северо-восточных областей США.

Кислотные осадки вызывают летальные последствия для жизни в реках и водоемах. Многие озера Скандинавии и восточной части Северной Америки оказались настолько закислены, что рыба не может не только нереститься в них, но и просто выжить. В 70-е годы в половине озер указанных регионов рыба полностью исчезла. Наиболее опасно подкисление океанических мелководий, ведущее к невозможности размножения многих морских беспозвоночных животных, что может вызвать разрыв пищевых сетей и глубоко нарушить экологическое равновесие в Мировом океане.

Тем не менее кислотные осадки столь вредоносны не для всех озер, а только для тех, чей водосборный бассейн не обладает способностью к нейтрализации кислотных добавок. Если подстилающие породы (например, граниты или гнейсы) устойчивы к растворению, то и озерам характерна «мягкая» вода,

а если в подстилающих породах присутствует известняк, то вода становится «жесткой» (содержащей много солей). Озера последнего типа лучше «сопротивляются» закислению воды. Наряду с подстилающими породами на чувствительность озер к кислотным дождям аналогичным образом воздействуют и местные почвы.

Наибольший ущерб от кислотных осадков наблюдается в лесах с глинистой и алюмосиликатными почвами, из которых кислые воды вымывают ионы алюминия. Последние уничтожают полезные почвенные бактерии, через корневую систему поступают в древесину и далее действуют как клеточные яды. В нормальных (не кислых) естественных условиях соединения алюминия практически нерастворимы и потому безвредны. По аналогичной схеме при подкислении среды начинается действие и других токсичных элементов, в том числе ртути и свинца.

Установлено, что кислотные осадки повреждают растительность. Первоначально снижается продуктивность лесов (прирост биомассы, что фиксируется по уменьшению размеров годичных колец на срезе ствола), а потом леса начинают гибнуть. По данным многочисленных наблюдений, наиболее чувствительны хвойные породы деревьев, хотя, как и для озер, важную роль здесь играют почвы и подстилающие породы. В 70-е годы и в начале 80-х, когда в Европе было зафиксировано значительное увеличение кислотности осадков, вызванное сжиганием высокосернистых углей (рис. 9.9), леса получили значительные повреждения. В наибольшей степени пострадали леса ФРГ, Чехословакии, Польши; их деградация отмечена в Австрии, Швейцарии, Швеции, Голландии, Румынии, Великобритании, Югославии, США.

Тщательные исследования показали, что деградация лесов — результат комплекса негативных факторов, который, помимо кислотных осадков с последующим изменением минерального состава почвы, включает:

- засухи, предшествовавшие повреждению деревьев;
- большую высоту над уровнем моря и облачный покров, в который попадали пострадавшие деревья;
- присутствие серы в листве и озона в атмосфере.

Совместное действие перечисленных абиотических экологических факторов среды обитания лесов привело к экологической катастрофе в Северном полушарии.

В наглей стране наблюдения за кислотностью и химическим составом атмосферных осадков ведутся много лет, создана сеть станций экомониторинга федерального и регионального

уровней. Результаты наблюдений Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды приведены в табл. 9.4, из которой видно, что химический состав осадков по регионам России изменяется в значительных пределах, а кислотность (величина pH) была достаточно стабильна.

Таблица 9.4

Кислотность и состав атмосферных осадков на территории России по ежемесячным данным сетей экомониторинга в 1997 г.

Регион	Концентрация, мг/л							Величина pH		
	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	HCO_3^-	NH_4^+	Cu^{2+}	Σ	минимальная	максимальная	средняя
Побережье Арктики	4,6	1,2	6,7	3,3	0,6	2,4	20,2	5,2	6,7	6,0
Север и Северо-Запад ЕТР*	6,3	3,2	2,5	10,3	1,1	2,9	32,3	5,2	7,0	6,1
Центр ЕТР	14,1	3,8	4,5	17,5	1,3	6,1	54,9	5,8	7,2	6,5
Юг ЕТР	2,1	2,9	3,7	5,7	1,3	1,7	20,8	5,2	6,8	6,1
Поволжье	11,1	4,9	4,5	14,2	1,0	5,9	47,9	5,6	7,3	6,5
Урал и Предуралье	7,5	3,4	3,2	10,7	1,0	4,2	34,0	5,7	7,4	6,6
Север и центр Сибири	3,0	0,8	1,6	4,0	0,8	0,8	11,9**	6,1	7,0	6,6
Юг Сибири	9,3	1,9	2,5	9,0	0,6	1,6	21,6**	6,0	7,2	6,7
Дальний Восток	6,6	0,6	3,5	1,3	0,9	1,1	18,1	4,7	6,5	5,7
Среднее: по ЕТР*	8,2	3,6	3,7	11,7	1,1	4,2	38,0	5,5	7,1	6,4
по Сибири и Дальнему Востоку	6,3	1,1	2,5	4,8	0,8	1,2	17,2	5,6	6,9	6,3

ЕТР — Европейская территория России.
* Неполные данные.

Сравнение данных 1997 г. с данными 1995—1996 гг. показывает, что общая минерализация осадков по стране несколько увеличилась, а в центре и северо-западе ЕТР загрязнение осадков выросло почти в 1,5 раза. На побережье Арктики и Дальнего Востока по-прежнему преобладают хлорид- и сульфат-ионы, составляя более 50% от суммы ионов, что больше значений предыдущи лет. На остальной территории основными компонентами осадков остаются сульфат- и гидрокарбонат-ионы, доля которых на юге Западной и Восточной Сибири достигла 80%. Пространственное распределение нитрат-ионов осталось на уровне прошлых лет, причем их вклад в общую минерализацию не превышает 10%. Наиболее высокое содержание нитрат-ионов наблюдается в центре ЕТР и Поволжье.

Отмеченное значительное (более чем в 2 раза) увеличение хлорид-ионов в осадках прибрежных районов Дальнего Востока и Арктики — свидетельство важной роли природных факторов в формировании состава атмосферных осадков.

За указанный период кислотность осадков практически на всей территории России уменьшилась, причем наблюдается рост

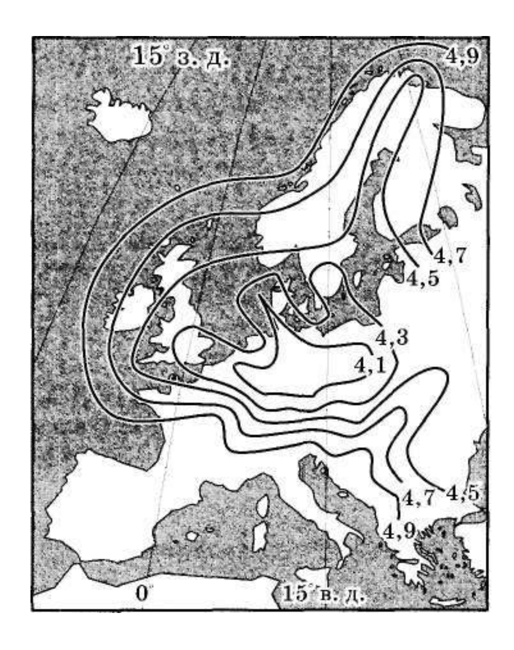


Рис. 9.9. Средние значения pH = 4,1... 4,9 осадков в Европе по данным наблюдений за 1978—1982 гг.

минимальных и снижение максимальных значений при сохранении средних значений pH на уровне 5,6—6,7. При этом в единичных пробах осадков были зафиксированы минимальные pH = 3,6...3,7 (в центре ЕТР и на юге Западной и Восточной Сибири) и максимальные pH = 9,4 значения (на Урале и в Предуралье).

Изложенное выше подтверждается данными наблюдений, выполненных в 1997 г. в рамках Европейской программы мониторинга и оценки дальнего переноса загрязняющих веществ на трех российских станциях контроля трансграничного переноса. Обобщение многолетних наблюдений этих станций показало, что в 1997 г. с атмосферными осадками на подстилающую поверхность выпало меньше свободных ионов водорода. Зафиксированные среднемесячные значения pH признаны не представляющими какой-либо опасности даже для высокочувствительных экосистем Севера. Такое положение, вероятно, связано, с одной стороны, с достижениями европейских стран в области защиты окружающей природной среды от загрязнения, а с другой стороны, со значительным спадом промышленного производства на территории бывшего СССР в конце XX в.

9.1.1.4. Загрязнение иными химическими веществами

Помимо перечисленных газов, имеющих антропогенное происхождение, от промышленных и транспортных предприятий, предприятий бытового и коммунального обслуживания, предприятий современного высокомеханизированного сельского хозяйства в атмосферу поступают и другие загрязняющие вещества.

Оксид углерода. Оксид углерода (CO), или «угарный газ», — широко распространенный загрязнитель воздуха, содержащийся в дымовых газах любых установок сжигания органического топлива, в том числе в выхлопных газах транспорта с двигателями внутреннего сгорания. Особенность воздействия CO на многие виды животных и, в частности, на человека заключается в способности центрального атома железа Fe в молекуле гемоглобина крови образовывать с молекулой оксида углерода значительно более прочную связь, чем с молекулой кислорода. Попадая в организм, угарный газ действует как яд: он изолирует железо в гемоглобине, препятствуя переносу кислорода.

Углеводороды. Углеводороды с общей формулой C_nii_m также относятся к числу основных примесей антропогенного происхождения, загрязняющих атмосферу. Они попадают в воздух с дымовыми газами теплоэнергетических установок, из хранилищ жидкого и газообразного топлива, с выхлопными газами транспорта. Если не учитывать метан, то 80% всех содержащихся в воздухе углеводородов приходится на этан, этилен, ацетилен, н-бутан, изопентан, пропан, толуол, н-пентан, ксилол, изобутан. Под действием солнечного света углеводороды участвуют в образовании фотохимического смога. Кроме того, при определенных условиях они вступают в реакции с образованием канцерогенных веществ.

Сероводород. Сероводород (H_2S) является распространенным серосодержащим загрязнителем атмосферы, попадающим в нее из скважин добычи и от нефте- и газоперерабатывающих заводов, химических предприятий, целлюлозно-бумажных комбинатов и т. п. Сероводород — один из продуктов жизнедеятельности организмов (например, анаэробных бактерий). Среднее время жизни сероводорода в атмосфере около 2 сут., после чего он окисляется до диоксида серы.

Фотохимический (сухой[1]) смог. Такой смог формируется в атмосфере под действием солнечного света при отсутствии ветра и низкой влажности из компонентов, характерных для выхлопных газов автомобилей. Впервые смог зафиксирован в 1944 г. в Лос-Анджелесе, когда в результате большого скопления автомобилей была парализована жизнь одного из крупнейших городов США. В результате фотохимических реакций образуются соединения, вызывающие увядание и гибель растений, сильно раздражающие слизистые оболочки дыхательных путей и глаз. Смог Лос-Анджелесского типа усиливает коррозию металлов, разрушение строительных конструкций, резины и других материалов. Окислительный характер такому смогу придают озон и другие образующиеся в нем вещества. Исследования, проведенные в 50-х годах в Лос-Анджелесе, показали, что увеличение концентрации озона связано с характерным изменением относительного содержания $\mathbf{N0_2}$ и NO.

Озон. Озон (0_3) — важный компонент атмосферы, образующий в стратосфере защитный экран от ультрафиолетового излучения Солнца. С развитием промышленности и транспорта началось увеличение содержания озона в нижних слоях ат-

[1] Влажный (Лондонский) смог описан выше (см. разд. 9.1.1.3).

мосферы. Источником озона является оборудование, искрящее и генерирующее жесткое излучение: электросварочные аппараты, контактные устройства электропоездов и т. п. Озон не только сильно токсичен, но и обладает свойством мутагенности.

Часть озона в тропосфере образуется в результате сложной последовательности реакций в условиях фотохимического смога. Процесс проходит при ярком солнечном свете преимущественно в крупных городах, атмосфера которых сильно загрязнена выхлопными газами автомобилей. В этом случае атомы кислорода образуются из диоксида азота:

$$N0_2 + hv\ (X < 400\ \text{нм})\ \text{-»}\ NO + O,$$

$$O + 0_2 \text{ -> } 0_3$$

В присутствии оксида азота как катализатора и при воздействии солнечного света с длиной волны X = 300—400 нм озон образуется также в результате окисления метана (и других органических веществ). При этом протекает цикл реакций, суммарное уравнение которых:

$$CH_4 + 40_2 \text{ -> } CH_20 + H_20 + 20_3$$

Присутствие озона в воздухе создает серьезные негативные проблемы, ибо он (активнейший окислитель, используемый человеком для дезинфекции) разрушает некоторые молекулы, играющие большую роль в биологических процессах, ослабляет иммунную систему человека и поражает легочную ткань. В совокупности с кислотными осадками и углеводородами озон считается виновником замедления роста и гибели лесов в Европе.

Расчеты показывают, что антропогенный выброс монооксида азота NO, являющегося непременным компонентом суммы оксидов азота N0^., удваивает приземную концентрацию 0_3, а рост выбросов CH_4 (многократно опережающий по темпам роста другие виды загрязнений тропосферы) еще больше увеличивает концентрацию озона по сравнению с поступлением его из стратосферы в процессе глобальной циркуляции атмосферы.

Аэрозоли. Аэрозоли (пыли, дымы, туманы) также являются загрязнителями атмосферы. Аэрозольные частицы попадают в атмосферу либо в готовом виде в результате деятельности вулканов, пожаров, морской соли, пыли или при сжигании топлива и с отходящими газами промышленных производств,

либо образуются непосредственно в атмосфере в результате химических реакций между компонентами газовых выбросов, причем доля антропогенной запыленности составляет 10—20% от общего поступления твердых частиц в атмосферу. Основная доля мирового выброса взвешенных частиц — около 94% — приходится на Северное полушарие; максимальное их количество поступает с территории промышленно развитых стран.

Наличие аэрозолей нарушает тепловой баланс атмосферы. Появление при смоге голубоватой дымки, сопровождающееся ухудшением видимости, есть следствие образования твердых аэрозольных частиц. Запыленность атмосферы играет особую роль в общепланетарных тепловых процессах: ее рост ведет к увеличению альбедо Земли и, как следствие, к уменьшению поглощения солнечной радиации.

Образование аэрозолей с твердыми частицами в воздухе городов часто вызывается диоксидом серы SO_2, превращающимся в серную кислоту H_2SO_4, которая в свою очередь вступает в реакцию с аммиаком NH_3, образуя частицы сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$.

Большая часть аэрозолей, выбрасываемых в атмосферу, остается в тропосфере, причем до 80% на высотах до 1 км. Время их пребывания в воздухе зависит от размеров частиц и на высотах до 1 км не превышает 3 сут., а в верхних слоях — 30 сут.

Количество твердых частиц в воздухе сильно варьируется в зависимости от местности. В нижней тропосфере в сельских районах концентрация частиц составляет около 10 000 см$^{-3}$, а над городами превышает 100 000 см$^{-3}$. Фоновая концентрация в воздухе районов, мало подверженных воздействию антропогенной деятельности, составляет всего 200—500 см$^{-3}$ аэрозольных частиц.

Тяжелые металлы. В атмосферу в виде твердых аэрозолей попадают металлы, в том числе токсичные — ртуть, свинец, кадмий, а также их соединения. Аэрозоли образуются при сжигании угля, нефти, торфа и других горючих ископаемых, а также из дыма плавильных печей при производстве сталей и сплавов цветных металлов. В результате антропогенной деятельности в атмосферу поступает во много раз больше золота, кадмия, свинца, олова, селена, теллура и других металлов, чем из природных источников.

Для ртути выброс в результате антропогенной деятельности составляет около 1/3 всех поступлений этого металла в ат-

мосферу. Оттуда она выпадает на сушу и с поверхностным стоком поступает в водоемы. Под действием бактерий происходит алкилирование ртути, и она становится еще более токсичной, чем в ионной форме. Подобные превращения характерны не только ртути, но и другим металлам и неметаллам: мышьяку, олову, свинцу, таллию, селену, кадмию и даже золоту. В алкилированной форме металлы губительны даже в количестве нескольких нанограмм.

В наибольшей степени атмосфера загрязняется свинцом, антропогенное поступление которого в воздух больше природного. Из общего количества выбросов свинца около 70—75% принадлежит продуктам сгорания бензина с добавками соединений свинца (в основном тетраэтилсвинца $Pb(C_2H_5)_4$ в качестве антидетонационных присадок). С выхлопными газами в атмосферу, а затем в почву поступает более 250 тыс. т свинца в год. Кроме того, по данным американских исследователей источниками загрязнения свинцом являются также продукты сжигания твердых отходов (13%), индустрия (11%) и сжигание угля и нефти (3,8%), которые ежегодно рассеивают над континентами около 100 тыс. т свинца.

Городская пыль содержит около 1% свинца, в дожде и снеге его до **300** мг/дм^3. Ежегодно житель города поглощает около 45 мкг свинца. Содержание свинца **в** крови современного человека в **100** раз превышает его содержание в крови первобытного человека. Токсичное действие свинца связано с его способностью замещать кальций в костях и нервных волокнах.

Серьезную опасность представляет загрязнение воздуха кадмием, антропогенный выброс которого в атмосферу (7000 т/г.) намного больше поступления из природных источников (850 т/г.). В дождевой воде его может содержаться до 50 мкг/дм^3. Ежедневно в организм взрослого человека поступает до 50 мкг кадмия, хотя задерживается не более 2 мкг/сут., а остальное выводится. Хроническое воздействие даже незначительных концентраций кадмия ведет к заболеваниям нервной системы и костных тканей, нарушению ферментного обмена, дезорганизации работы почек.

Прочие вещества. Общий объем выбросов в атмосферу (см. табл. 9.1) увеличивался до конца XX в. и продолжает расти в настоящее время. Одновременно усиливается и внимание к решению возрастающих экологических проблем. К концу прошлого века в нашей стране установлены гигиенические нормативы (допустимые уровни воздействия на организм человека) уже более 2100 индивидуальных веществ, тогда как

для первых десяти веществ они были введены еще в 1951 г. (см. разд. 10.4.2). В соответствии с п. 7 ст. 15 Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 г. № 96-ФЗ:

> выброс в атмосферный воздух загрязняющих веществ, степень опасности которых для человека и ОС не установлены, запрещен.

9.1.2. Воздействие на гидрс^|эеру

Вода, как и воздух, является количественно неисчерпаемым природным ресурсом, но человеку и всему живому в биосфере нужна не просто вода как вещество с формулой H_20, а вода определенного качества, т. е. имеющая определенные прозрачность, температуру, сопутствующие примеси и т. п.

Гидросфера — это естественный фильтр-аккумулятор загрязняющих веществ, поступающих в окружающую природную среду, что связано с циклом глобального круговорота воды и с ее универсальной способностью к растворению газов и минеральных веществ.

Статистика показывает, что 80% всех заболеваний в мире вызвано неудовлетворительным качеством питьевой воды:

Болезнь	Гастроэнтерит	Трахома	Шистосоматоз	Малярия
Число людей, страдающих заболеванием, млн чел.	400*	500	200	800

Ежегодно в мире умирают около 22 млн чел.

По мере развития цивилизации человеку требовалось все больше и больше воды. Человек каменного века потреблял менее 10 л/сут, в Римском государстве — до 70 л/сут, современный житель США — около 700 л/сут, тогда как: во многих современных развивающихся странах эта цифра не превышает 30 л/сут (рис. 9.10). Считается, что уровень потребления воды характеризует уровень технического и культурного развития общества. На питье и приготовление пищи человек затрачивает не более 10% потребляемой воды, а в среднем бытовое потребление в развитых странах составляет 220—320 л/сут.

Среди отраслей экономики нашей страны первое место по потреблению воды занимает сельское хозяйств». Для получе-

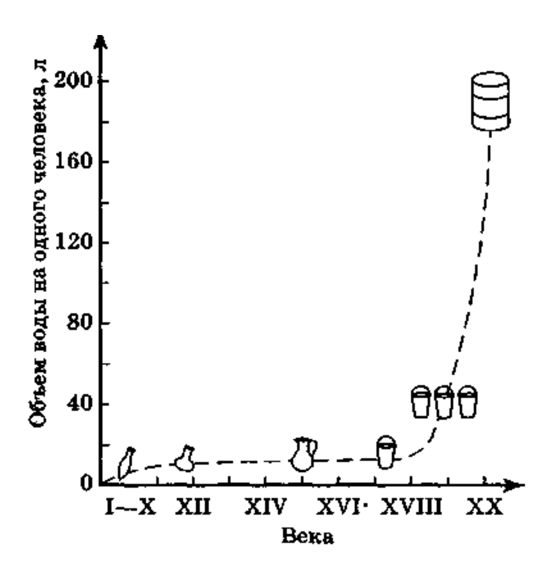


Рис. 9.10. Рост удельного потребления воды в быту (по *К. С. Лосеву)*

ния 1 т пшеницы необходимо 1500 т воды, 1 т риса — более 7000 т, 1 т хлопка — около 10 000 т.

Второе место отводится промышленности. Ни одно промышленное предприятие не может функционировать, не используя воду из природных источников. Потребность предприятий в воде изменяется в широких пределах и зависит от вида получаемой продукции, принятой технологии, системы водоснабжения (прямоточной или водооборотной), климатических условий и т. п. Так, для получения 1 т угля затрачивается 2 т воды, стали — 15—20 т, целлюлозы — 400—500 т, синтетического волокна — 500 $м^3$.

Третье месте по водоемкости занимает коммунальное хозяйство городов. Значительный объем чистой воды затрачивается на разбавление, обеззараживание стоков и отбросов промышленности, сельского хозяйства, строительства, населенных пунктов и транспортных путей, т. е. на борьбу с загрязнением гидросферы.

Все перечисленное ведет к дефицитности воды и, как следствие, к планированию ее расхода не по крупности потребителей, а по необходимости удовлетворения первоочередных потребителей.

Разнообразие сточных вод принято подразделять на следующие виды:

- *технологические,* возникающие в технологических процессах предварительной мойки, промежуточной или финишной промывки, а также при использовании воды в качестве технологического растворителя либо носителя;
- *хозяйственно-бытовые* (или коммунальные), образующиеся в жилищно-бытовом секторе, а также в сфере общественного питания и санитарно-гигиенического обслуживания на предприятиях;
- *поверхностные,* формирующиеся за счет дождевых и талых снеговых вод, а также воды при мокрой уборке территорий с искусственными покрытиями (асфальтированными, бетонными и т. п.).

9.1.2.1. Влияние на воды суши

Наибольшее число стоков, загрязняющих поверхностные и грунтовые воды, образуется в энергетике, сельском и коммунальном хозяйствах. Большую роль в загрязнении вод играют вещества, выпадающие из атмосферы с осадками. В воды суши и океана поступают сера и азот в виде соединений H_2S0_4, HNOg, $(NH_4)_2S0_4$, NH_4N0_3, Для поверхностных вод суши характерно наличие большого количества органических веществ, поступающих с территории водосборного бассейна. Фосфор в виде соединений попадает в водоемы с бытовыми сточными водами, причем 20—30% этого количества — из синтетических моющих средств.

Постоянно увеличивается доля загрязнений, вносимых в водоемы за счет смывов атмосферными осадками удобрений и пестицидов с полей. Основная трудность в предотвращении загрязнения сточных вод объектами сельского хозяйства заключается в том, что поступление биогенных веществ с пашен рассредоточено в пространстве и в невозможности выделить «источники» и «потоки» загрязнений. Например, даже закрытие всех промышленных предприятий, расположенных на берегах Ладожского озера, или пуск на них высокоэффективных очистных сооружений не сможет решить проблему спасения озера, ибо с сельскохозяйственных угодий в него ежегодно поступает более 86 тыс. т азота и около 7,2 тыс. т фосфора. Одна из экологических проблем XX в. — антропогенная эвтрофикация водоемов (см. разд. 6.4.2), хотя само это явление существовало всегда. Наличию залежей угля, нефти, горючих сланцев мы обязаны процессам эвтрофикации, протекавшим на нашей планете в далеком прошлом.

На воды суши ощутимо влияет мелиорация и в первую очередь ее частные виды — орошение (обводнение) и осушение. Орошение — искусственное увлажнение почвы и поверхности растений путем подачи воды осуществляется с целью обеспечения растений влагой, регулирования солевого режима почв. Однако научно не обоснованный отвод больших объемов воды из природных источников (рек, озер, болот) приводит не только к изменению уровня грунтовых вод, что вызывает засоление почв и потери их плодородия, но и к обезвоживанию самих природных источников. Так, по прогнозам ученых ряду рек угрожает судьба в ближайшем будущем не достигнуть своего природного устья, поскольку их воды по ходу течения будут полностью откачаны на промышленно-бытовые нужды.

Подобный процесс послужил, в частности, причиной истощения водных запасов Аральского моря. Если до 60-х годов прошлого века приток воды в Аральское море уравновешивал испарение (около 65 $км^3$/г), то в начале 90-х годов он стал менее 20 $км^3$/г. В результате уровень воды по сравнению с 1957 г. понизился на 14 м и более. Площадь Арала уменьшилась с 66,5 до 36 тыс. $км^2$, а объем воды с 1000 до 320 $км^3$. Ныне осушенное бывшее дно моря представляет собой пустыню. Пыльные и солевые бури, возникающие время от времени, разносят песок и соль на сотни и тысячи километров, снижая плодородие земель.

Вода, непосредственно участвующая в технологическом цикле предприятий, насыщается различными химическими соединениями и взвесями. Состав стоков зависит от вида производства, исходного сырья и вспомогательных материалов, технического совершенства применяемой аппаратуры и точности соблюдения технологического регламента. Многообразие и непостоянство состава технологических сточных вод характерно для многих предприятий.

Кроме того, вода природных источников, потребляемая предприятиями промышленности и особенно энергетики, используется в значительных количествах в качестве хладагента. Сброс подогретых вод обратно в водоем меняет его биоценоз, вызывает цветение воды.

Основные химические загрязнители, поступающие в водоемы суши с промышленных предприятий, принято делить на три группы:

- неразлагающиеся или очень медленно разлагающиеся в природной среде вещества, в том числе ионы металлов, минеральные соли, углеводороды нефти и т. п.;

- водорастворимые вещества, не вовлекаемые в биологический круговорот, в том числе токсичные;
- легкоусвояемые органические соединения (биогенные вещества).

9.1.2.2. Влияние на Мировой океан

Антропогенная нагрузка на воды Мирового океана в последние десятилетия значительно увеличилась. В результате резко ухудшилось качество морской воды, нанесен ущерб биологическим ресурсам океана, увеличилась опасность для здоровья людей (табл. 9.5).

Основные причины загрязнения вод морей и океанов следующие:

- сброс промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод в моря или реки, в них впадающие;
- поступление с суши стоков, содержащих вещества, применяемые в сельском и лесном хозяйствах;
- захоронение на морском дне загрязняющих веществ (радиоактивные отходы и т. п.);
- разнообразные утечки с судов морского транспорта;
- аварийные выбросы и сбросы судов, а также из подводных трубопроводов;
- добыча полезных ископаемых на морском дне;
- выпадение загрязняющих веществ с осадками из атмосферы.

Помимо перечисленного в Мировой океан поступает большое количество взвешенных частиц. В нем обнаруживаются все новые и новые загрязняющие вещества антропогенного происхождения. Доля антропогенного поступления в суммарном поступлении свинца в океан составляет 92, нефти — 88, хлорированных углеводородов — 100%. Особенно опасны для биоценоза океана хлорорганические соединения, обладающие токсическим и канцерогенным действием. Прибрежные зоны океана подвержены процессу эвтрофикации и микробиологическому загрязнению воды в первую очередь из-за хозяйственно-бытовых стоков. Неуклонно возрастает поступление в океан нефти и нефтепродуктов.

По расчетам специалистов после 1945 г. в среднем ежегодно в океан с судов сливается не менее 2,5 млн $м^3$ нефтепродуктов. При этом всего лишь 1 т нефти способна образовать на поверхности воды мономолекулярную пленку на площади до 12 $км^2$.

Таблица 9.5

Наиболее распространенные токсичные компоненты крупномасштабного загрязнения Мирового океана по Патину

Загрязняющие вещества	**Степень биологической опасности**	**Масштаб распространения**
Радионуклиды (тритий, стронций-90, цезий-137, церий-144, плутоний-238)	Сильная	Глобальный
Хлорорганические токсичные:		
ДДТ и его метаболиты	Сильная	Глобальный
полихлорированные бифенилы	Сильная	Глобальный
альдрин	Сильная	Глобальный
дильдрин	Сильная	Локальный
Металлы:		
метилртуть, ртуть	Сильная	Глобальный
кадмий, свинец	Слабая	Глобальный
цинк	Значительная	Локальный
медь	Значительная	Региональный
хром	Слабая	Локальный
мышьяк	Слабая	Региональный
железо, марганец	Незначительная	Локальный
Нефть и нефтепродукты	Значительная	Глобальный
Детергенты*	Неопределенная	Региональный

Детергенты — поверхностно-активные синтетические вещества, используемые в составе моющих средств и эмульгаторов, с трудом подвергаются разложению микроорганизмами.

В океан не только сливают все стоки, но и сбрасывают большое количество твердых отходов. Наиболее опасны контейнеры с высокоактивными отходами атомной промышленности, содержащими трансурановые элементы, которые могут

оставаться опасно радиоактивными еще несколько тысяч лет. В начале 80-х годов XX в. на дно океана в специальных контейнерах опускалось ежегодно около 7 тыс. т радиоактивных отходов.

В водах морей и океанов проводится также захоронение опасных ядохимикатов. Так, в начале 30-х годов прошлого века в Балтийском море в цементных контейнерах захоронено 7 тыс. т мышьяка. Такого количества мышьяка хватит для того, чтобы отравить все население планеты. В наше время уже отмечается нарушение герметичности контейнеров и утечка ядохимикатов.

Загрязнение человеком гидросферы, в том числе Мирового океана, заключается не только в сбросе сточных вод. Человек вносит изменения в гидрологический и гидрохимический сток в целом, вмешивается в естественный круговорот веществ, меняет качество воды.

9.1.3. Воздействие на литосферу

Человек интенсивно воздействует на верхнюю часть твердой оболочки Земли. Преимущественно это воздействие приходится на верхний плодородный слой литосферы — почву, благодаря которой человечество удовлетворяет основную часть своих потребностей в продуктах питания. Плодородные земли относятся к условно возобновимым ресурсам, однако время, необходимое для их восстановления, т. е. формирования плодородного слоя, достаточного для сельскохозяйственного использования, может исчисляться сотнями или даже тысячами лет. При нормальных природных условиях 1 см толщины плодородной почвы образуется за 125—400 лет. Процесс значительно ускоряется при оптимальной агротехнике, но даже в этих условиях для создания 1 см плодородного слоя требуется не менее 40 лет.

На нашей планете в качестве пашни обрабатывается около 10% суши. В начале нового тысячелетия человечество, вероятно, приблизится к полной реализации всех потенциальных земельных ресурсов. Почти вся площадь, используемая под сельскохозяйственные культуры, освоена с давних времен. Несмотря на огромные усилия человечества, рост площадей возделываемых земель низок, и обеспеченность ими на душу населения постоянно снижается.

Стремясь повысить урожаи выращиваемых культур, человек широко применяет удобрения, пестициды, строит ороси-

тельные и осушительные системы. При этом вносятся существенные антропогенные помехи в биогеохимические круговороты биогенных элементов.

Основное условие формирования высоких урожаев — наличие в почве питательных элементов в доступных формах и в должном соотношении. Основными биогенными элементами являются углерод, азот, фосфор, калий и т. д. Естественные биоценозы — это устойчивые саморегулирующиеся системы, тогда как агробиоценозы — это системы с разрушенными обратными связями, которые могут существовать только при целенаправленной регулирующей деятельности человека.

Интенсификация сельскохозяйственной деятельности человека и прежде всего химизация вызывают изменения в устоявшихся процессах превращения веществ и энергии в природе. Значительные потери веществ, например азота, происходят в результате их улетучивания из почвы и вымывания. К началу нового тысячелетия ожидаемые на планете потери азота, входящего в состав удобрений, составили более 40 млн т/г. Обогащение биосферы азотом за счет удобрений опасно, так как это ведет к накоплению токсичных азотсодержащих органических соединений.

К канцерогенным соединениям, появление которых обусловлено неправильной химизацией сельского хозяйства, относятся га-нитрозосоединения. Как правило, они вызывают образование злокачественных опухолей печени, желудка, легких и других органов, обладают мутагенным и эмбриотоксическим действиями. /г-Нитрозосоединения R^RgN—$N0_2$ могут образовываться в содержимом желудка человека, если в него одновременно попадают нитрит $N0_2$ и вторичный амин R_xR_2NH. Образование этих соединений происходит при участии различных микроорганизмов.

Для земледелия особенно важен баланс фосфора в экологических системах. Фосфор — важнейший биогенный элемент, и его дефицит резко снижает продуктивность растений. Фосфор не имеет естественных источников пополнения запаса в почве. Восполнение потерь возможно только путем внесения фосфорных и органических удобрений. В круговорот фосфора в биосфере вовлечены почва, вода и растения.

Потери фосфора в экосистемах происходят в результате изъятия его с урожаем и за счет эрозии почвы.

Подкисление почв, вызываемое выпадением кислотных осадков, переводит фосфор в формы, недоступные для растений.

Высокое естественное содержание калия в почвах обычно не лимитирует урожаи, однако в ряде природных зон повышенные дозы азота и фосфора на сельскохозяйственных угодьях приводят к отрицательному балансу калия.

Сегодня человечество уже не может использовать экстенсивный путь развития сельского хозяйства, в то же время интенсивный путь, основанный на поддержании и повышении плодородия почв, связан с обязательным применением удобрений. Однако при нарушении технологии использования удобрений их неблагоприятное воздействие на окружающую природную среду многосторонне сказывается на различных компонентах биосферы. При этом может происходить:

- нарушение круговорота и баланса питательных веществ, снижение плодородия почв;
- снижение урожаев сельскохозяйственных культур и качества продуктов;
- развитие грибковых и других заболеваний растений, рост сорняков из-за нарушения соотношения макро- и микроэлементов в почве;
- попадание питательных элементов удобрений и почвы со стоками в грунтовые воды, а далее в поверхностные водоемы, что вызывает их эвтрофикацию;
- проникновение в стратосферу оксидов азота, образующихся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений, способствует разрушению озонового слоя.

Одним из видов антропогенного воздействия на почву является усиление (ускорение) процессов водной и ветровой эрозии. **Эрозия** — процесс разрушения и переотложения почвенных частиц воздушными или водными потоками. Эрозия почвы происходит и в естественных условиях, однако она значительно ускоряется вследствие антропогенного воздействия на экосистемы, выражающегося в чрезмерной и неправильной распашке земли, в том числе без учета рельефа, сведения лесов, непроведения противоэрозионных агрохимических мероприятий.

В зависимости от причин возникновения этого процесса различают ветровую, водную и техногенную эрозию. Водная эрозия может быть плоскостной, при которой разрушается поверхностный слой почвы, и линейной, вызывающей процесс разрушения почвенного профиля в глубину и почвообразую-

щих пород. Борьбе с эрозией почв способствует безотвальная обработка земли, контурная и полосная вспашки, террасирование, создание ветрозащитных полос.

Ущерб плодородию почв наносят нерегулируемые ливневые осадки и паводки, ненормированный выпас скота, распашка целинных и залежных земель, проводимая без учета возможной эрозии. В сельском хозяйстве США площадь эрозированных земель составляет около 40% всей пашни. За год с сельскохозяйственных угодий только вода уносит почти 3 млрд т плодородной земли. Большая часть унесенного слоя оседает в реках, озерах и искусственных водоемах, что наносит ущерб водным биоценозам. Большие территории ранее плодородных целинных земель, освоенные под пашню, становятся бесплодными из-за неправильной обработки. Оставаясь лишенными на длительное время какой-либо растительности, эти земли оголены ветрами, унесшими верхний гумусовый слой. Превратились в пустыню обработанные в 30-х годах XX в. большие территории в Техасе (США), часть целинных земель Казахстана.

Усилению эрозии почвы, обмелению рек и озер способствует *вырубка лесов.* Средняя скорость сведения лесов в Юго-Восточной Азии составляет 7,1 млн га/г., в США. — 2,8 млн га/г. Так, на северо-востоке Индии у отрогов Гималаев расположено местечко Черапунджи, где ежегодный уровень выпадения осадков составляет до 9150 мм. Ныне над этим «влажным царством» нависла угроза недостатка влаги и даже превращения его в пустыню. Причина — активная вырубка лесов, продолжающаяся уже 25 лет. В результате сведения лесов почва, лишенная растительного покрова, слабо поглощает осадки, и в сезон дождей плодородный слой легко вымывается. Известняки, наиболее распространенная в Черапунджи геологическая порода, оголяются и подвергаются растворению кислыми дождями. В результате образуются карстовые провалы, активно поглощающие воду.

В ряде стран сокращение земель, используемых в сельском хозяйстве, происходит из-за чрезмерного выпаса скота: в Аргентине и Чили из-за этого выведено из использования свыше 100 млн га некогда обрабатываемых земель. Выпас скота привел в негодность пастбища и способствует продвижению пустынь в Ираке, Сирии, Индии.

Значительно снижает плодородие почв их *засоление* — повышение содержания легкорастворимых солей. Оно может быть вызвано, например, привнесением солей грунтовыми и поверх-

ностными водами. Наиболее часто засоление вызывается нерациональной системой орошения земель. Почвы считаются засоленными при содержании в них более 0,1% по массе солей, токсичных для растений. Высок процент засоления почв районов древнего орошаемого земледелия: в долине Нила засолено более 80% земель, в долине реки Инд — около 67%. Засолению почвы на больших площадях способствует строительство водохранилищ, вызывающее повышение уровня грунтовых вод.

В VI в. нашей эры начался быстрый рост поселений. С этого времени человек планомерно отторгает у дикой природы участки лесов, лугов и других естественных экосистем для возведения городов и поселков, строительства дорог, промышленных предприятий, свалок и т. д. Происходящее в развитых странах сокращение удельного количества пашни, приходящегося на душу населения, обусловлено также изъятием земель для промышленных нужд. Ежегодно в США более 1 млн га сельскохозяйственных угодий уходит на строительство новых районов городов, поселков, автострад и другие виды хозяйственной деятельности. В Японии, расположенной на островах и обладающей земельными ресурсами, весьма ограниченно пригодными для сельскохозяйственного использования, в период с 1968 по 1974 гг. ежегодно терялось 40—60 тыс. га угодий за счет отторжения земель под жилищное и промышленное строительство, прокладки коммуникаций, разбивки парков и искусственных насаждений.

Значительное загрязнение плодородного слоя почвы и отчуждение сельскохозяйственных земель вызывает складирование и (или) захоронение промышленных и бытовых твердых отходов. Основная масса твердых отходов образуется на предприятиях следующих отраслей:

- горной и горно-химической промышленности (отвалы, шлаки, «хвосты»);
- черной и цветной металлургии (шлаки, шламы, пыль и т. д.);
- металлообрабатывающих отраслей (отходы, стружка, бракованные изделия);
- лесной и деревообрабатывающей промышленности (отходы лесозаготовки, опилки, стружка);
- энергетической — тепловые электростанции (зола, шлаки);
- химической и смежных отраслей промышленности (шламы, фосфогипс, шлаки, стеклобой, пластмассы, резина и т. п.);

- пищевой промышленности (кости, шерсть и т. п.);
- легкой и текстильной промышленности.

Накопление значительного количества твердых отходов во многих отраслях обусловлено существующим уровнем промышленных технологий, не предусматривающих комплексной переработки сырья. Многие технологии предусматривают использование не более 8—10% сырья, а некоторые даже менее 1% от добытого. Все остальное поступает в отходы или отвалы. Помимо того что промышленные отходы занимают значительную территорию, они служат источником химического загрязнения почвы, гидросферы и атмосферы. Стекающие с гор отвалов атмосферные осадки преимущественно загрязнены химически активными и вредными для биосферы веществами. Это ведет к формированию вокруг отвалов и хранилищ зараженных зон. Загрязняющие вещества попадают в грунтовые воды и поверхностные водоемы. В сухую погоду отвалы пылят, а отвалы угольных шахт даже самовозгораются, что загрязняет атмосферу.

Ежегодное потребление минерального сырья в мире составляет более 100 млрд т. В результате столь интенсивного использования недр Земли облик планеты сильно изменился. В промышленно развитых районах сформировался **антропогенный ландшафт**[1], значительно отличающийся от природного. Это привело к существенному изменению (упрощению) биоценозов, свойственных таким районам. К твердым отходам также относится обезвоженный активный ил, образующийся на очистных сооружениях промышленных предприятий и городов.

Для обезвреживания наиболее токсичных неутилизируемых твердых и жидких отходов промышленности, содержащих хром, кадмий, свинец, ртуть, цианистые соединения, пестициды, отработанные катализаторы и т. п., производят их захоронение на специально оборудованных полигонах.

Проблема утилизации твердых бытовых отходов — одна из острейших экологических проблем, стоящих перед городами и особенно перед крупными, где на одного жителя в год образу-

Ландшафт антропогенный — ландшафт, преобразованный хозяйственной деятельностью человека, при этом связь природных компонентов изменена в такой степени, что на месте ранее существовавшего природного комплекса складывается новый, развитие которого контролируется человеком. Считается, что в настоящее время антропогенные ландшафты занимают около половины территории суши.

ется 200—750 кг твердых бытовых отходов. Примерно треть этого количества составляют пищевые отходы, а еще треть — бумага и картон. Постепенно растет содержание в бытовых отходах пластических масс. При сжигании бытовых отходов, содержащих полимерные материалы, возможно образование весьма токсичных соединений, например **диоксинов**[1].

Во многих регионах России, странах СНГ, отчасти Восточной Европы и в развивающихся странах реальная последовательность удаления отходов потребления и быта включает два основных элемента — источник твердых бытовых отходов (ТБО) и свалку (полигон) (рис. **9.11**).

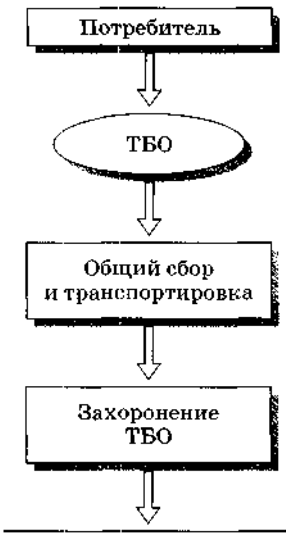


Рис. 9.11. Схема примитивной последовательности удаления отходов потребления и быта (по Л. *Б. Лифшицу)*

Российские полигоны, за редким исключением, производят подавляющее психологическое впечатление, отравляют атмосферу и гидросферу, губят растительный покров, формируют неблагоприятную для человека окружающую среду. Свалки являются центрами концентрации люмпенизированного населения, что вызывает напряженную социальную и криминогенную обстановку вокруг них.

Анализ мирового опыта обращения с отходами показывает, что в большинстве стран Европы и Северной Америки за последнее десятилетие произошли значительные изменения. Последовательность удаления отходов в этих странах сегодня включает ряд обязательных этапов, к числу которых относятся:

[1] Диоксины — обиходное название высоко токсичных веществ канцерогенного, тератогенного и мутагенного действия, относящихся к классу полихлорирован'ных дибензодиоксинов, например тетрахлордибензо-парадиоксина. Хорошо растворяются в жирах и накапливаются в пищевых цепях. Могут образовываться в качестве побочных продуктов при производстве, обработке и сжигании любых хлорированных углеводородов.

- редукция (уменьшение объемов образования ТБО прежде всего путем рационализации потребления);
- вторичное использование (использования фракций отходов, обладающих потребительскими свойствами);
- переработка (использование соответствующих фракций ТБО в качестве сырья для производственных процессов);
- утилизация энергии (извлечение энергетического потенциала отходов);
- захоронение остатков ТБО, не обладающих никакими полезными свойствами, на экологически нейтральных полигонах.

Полнота осуществления такого алгоритма обращения с отходами в разных странах определяется конкретными экономическими, сырьевыми, демографическими и другими условиями. В зависимости от них принимаются адекватные национальные законодательные акты, вводятся соответствующие организационно-финансовые механизмы, определяющие наиболее важные акценты в переработке ТБО. В целом эти шаги направлены на создание условий, стимулирующих внедрение приоритетных для данной конкретной страны методов переработки отходов.

Технологии переработки, как правило, включают в себя компостирование органического материала, извлечение металла и пластиков, сжигание относительно сухих фракций отходов и т. д. Вместе с тем даже самые современные схемы удаления ТБО включают полигоны захоронения, куда поступают остатки от переработки отходов (рис. 9.12).

В одной из богатейших развитых стран — США на протяжении последних 40 лет доля мусоросжигания в системе обезвреживания ТБО практически постоянна и составляет примерно 15—20% (рис. 9.13), тогда как европейская практика заключается в постоянном увеличении доли их сжигания.

Показателен пример Германии, где за четыре года, с момента ввода в действие закона об обращении с ТБО (1993—1997), объем захоронений в стране снизился на 20%. В основном такой результат достигнут благодаря внедрению метода компостирования садовых и дворовых отходов, а также раздельному сбору упаковочных материалов и других фракций ТБО.

Твердые бытовые отходы в ряде случаев не менее опасны, чем промышленные. Наиболее характерным примером является *проблема ртутной безопасности,* осознанная в настоя-

щее время как одна из важнейших среди иных экологических проблем в городах, крупных индустриальных центрах, в том числе в Москве.

Металлическая ртуть и ее соединения — наиболее токсичные среди загрязнителей окружающей природной среды, так как ртуть является веществом первого класса опасности. Это — один из хорошо изученных в настоящее время токсикантов. В виде аэрозоля она попадает в организм вместе с воздухом и затем длительное время воздействует на человека. При концентрациях выше 0,25 мг/м^3 ртуть полностью задерживается легкими, а при наличии в воздухе закрытых помещений (подъездах дома, школьных подвалов и др.) ртутных паров в концентрации 0,1—0,8 мг/м^3 у людей наблюдаются острые отравления.

Наиболее распространенный источник ртутного загрязнения в городских условиях — вышедшие из эксплуатации лампы дневного света (люминесцентные лампы[1]) и ртутьсодержащие приборы, наиболее известными из которых являются тер-

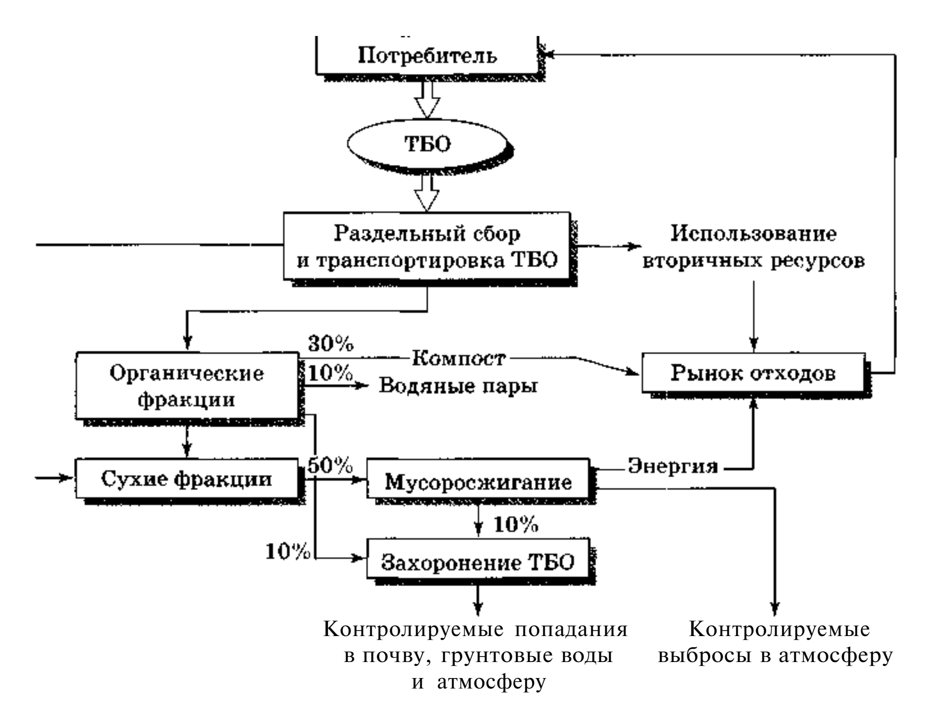
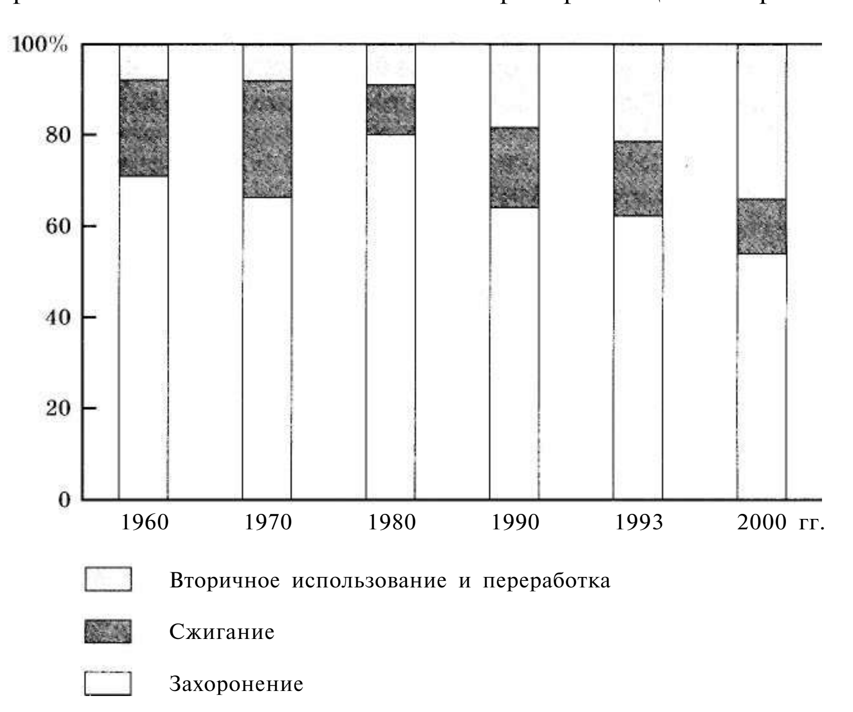


Рис. 9.12. Схема наиболее совершенной последовательности удаления отходов потребления и быта (по *А. Б. Лифшицу)*

мометры и тонометры (приборы для измерения артериального давления). Так, по оценкам специалистов, ежегодно только на предприятиях Москвы выходит из строя 6—7 млн шт. люминесцентных ламп, а эти лампы также используют в общественных зданиях, учебных заведениях, лечебных учреждениях и в жилых домах (преимущественно для освещения подъездов, где их ежегодно заменяют на новые в количестве около 2 млн шт./г.).

Каждая люминесцентная лампа, кроме стекла и алюминия, содержит до 100 мг ртути, следовательно, в 1 млн отработавших ламп находится около 100 кг этого металла. Если лампа разбивается, ртуть попадает в воздух. В большинстве случаев отработавшие свой срок ртутьсодержащие приборы выбрасывают вместе с бытовыми отходами в контейнеры для мусора. При вывозе ТБО на свалки лампы и приборы чаще всего разби-



3. Диаграмма изменения пропорций между методами удаления ТБО в США

[1] Люминесцентные лампы, в сравнении с лампами накаливания, имеют в несколько раз больший срок службы и почти вдвое больший КПД — долю энергии, преобразованную из электрической в световую форму.

ваются, и ртуть может свободно поступать в почву, грунтовые воды и испаряться в атмосферу.

Среднесуточная предельно допустимая концентрация ($ПДК_{СС}$) паров ртути составляет 0,0003 $мг/м^3$. Проведенные в 90-х годах прошлого века обследования ряда больниц МосКг вы показали примерно в 10% больничных палат превышение значений ПДК ртути. В ряде случаев загрязнение ртутью доходило до 10 ПДК. Высокие (до 20 ПДК) концентрации паров ртути были обнаружены также в физических и химических кабинетах некоторых школ старой постройки.

Проблеме сбора, хранения и переработки изделий, содержащих ртуть, уделяется повышенное внимание во всем мире. Обезвреживание ртутных ламп должно осуществляться только на предприятиях, где на специальном оборудовании люминофор (концентрирующий на своей поверхности ртуть) отделяется от стеклобоя и металла и далее в виде ртутного концентрата отправляется на повторное использование.

Объем собираемых и обезвреживаемых люминесцентных ламп в Москве в настоящее время превышает 40% от образующихся в промышленном секторе, что сопоставимо с уровнем большинства европейских стран. Однако в жилищно-коммунальном секторе сбор ртутьсодержащих отходов пока не налажен в достаточной мере. Выявлены случаи накопления больших количеств ртутных ламп и приборов учебными и медицинскими учреждениями, торговыми организациями. В результате они часто попадают в контейнеры с бытовым мусором, а затем на городские свалки.

Проблеме загрязнения ртутью было уделено серьезное внимание и ситуация в Москве стала улучшаться. К сожалению, первые успехи в области сбора и обезвреживания ртутьсодержащих ламп и приборов, достигнутые в Москве за последние годы, не характерны для многих других городов и регионов страны.

9.1.4. Воздействие на биосферу физических факторов

На биосферу Земли постоянно воздействуют, наряду с химическими, многочисленные физические факторы. Значимость воздействия этих факторов антропогенного происхождения достаточно ощутима и продолжает увеличиваться, а в ряде случаев физическое воздействие на конкретные экосистемы зна-

чительно превышает химическое. Наиболее широко известны примеры радиационного загрязнения.

Физическое загрязнение связано с отклонением за пределы нормального диапазона колебаний параметров (уровня) физических абиотических факторов среды обитания. Теоретически это относится абсолютно ко всем климатическим и топографическим экологическим факторам. Реально в наше время ощущается антропогенное воздействие на такие физические факторы, как температура, уровень звука и вибрации, интенсивность различных электромагнитных излучений, включая ионизирующее и световое. Это воздействие стало столь значительно, что соответствующие физические загрязнения выходят за рамки локальных и ощущаются на глобальном уровне.

Тепловое загрязнение. Оно является результатом рассеивания в окружающей природной среде теплоты, выделяющейся в многообразных тепловых процессах, прежде всего связанных со сжиганием топлива. По существующим оценкам ежегодно в мире сжигается до 5 млрд т угля, 3,2 млрд т нефти, т. е. высвобождается более $2 \cdot 10^{20}$ Дж тепловой энергии, которая меняет температурный режим воздушной и водной среды, а также динамику происходящих там процессов. Замена тепловых теплоэлектростанций на атомные, уменьшая до некоторой степени химическое загрязнение среды, одновременно увеличивает тепловое загрязнение. Так, при производстве 3,6 МДж электроэнергии на тепловой электростанции потери теплоты (отходы) в атмосферу и воду, используемую для охлаждения, составляют соответственно 1,67 и 0,565 МДж, а на атомной электростанции — 0,544 и 7,95 МДж.

Помимо влияния на общебиосферный процесс глобального потепления тепловое загрязнение локально воздействует на водные экосистемы. Именно повышение температуры воды способствует:

- превышению критических значений для **«стенотермных[1]»** стадий жизненных циклов водных организмов;
- усилению восприимчивости организмов к токсическим веществам (непременно присутствующим в загрязненной воде);
- замене обычной флоры водорослей менее желательными синезелеными водорослями (рис. 9.14);

Стенотермный (от греч. stenos — узкий, ограниченный) — не выносящий колебаний температурных условий среды. Стенотермность характерна многим почвенным и морским видам животных.

• снижению количества кислорода в воде из-за уменьшения его растворимости.

В промышленных районах количество вырабатываемой энергии столь велико, что соизмеримо с интенсивностью излучения Солнца на эту же площадь (табл. 9.6). Поэтому там образуются «острова тепла» и формируется особый микроклимат. Это явление характерно для городов, крупных населенных пунктов и особенно для мегаполисов.

Шумовое (акустическое) загрязнение. Оно возникает в результате отклонения (в основном увеличения) интенсивности и повторяемости звуковых колебаний за пределы природного диапазона. Шумом называют любые звуки, мешающие жизнедеятельности организмов. Отсутствие шума особенно необходимо для животных, обменивающихся звуковой информацией, а также анализирующих звуки окружающей среды с целью получения информации, в том числе сигналов тревоги. Поскольку адаптация организмов к шуму практически невозможна, шумы являются серьезным загрязнителем среды обитания.

Таблица 9.6

Соотношение интенсивности видов энергии в промышленных районах

Район	Площадь, $км^2$	Техногенная энергия, $Вт/м^1$	Излучение, Солнца, $Вт/м^2$
Фэрбенкс, Аляска (США)	37	18,6	18,1
Рурская область (ФРГ)	10 296	10,3	50,4
Лос-Анджелес (США)	3500	21,2	108,8
Берлин (ФРГ)	650	21,5	99,9
Манхэттен, Нью-Йорк (США)	59	630,0	93,7

Для человека шум — общебиологический раздражитель, который в определенных условиях может влиять на все органы и системы организма (включая нервную систему, зрение, вестибулярный аппарат, пищеварение, обмен веществ и т. п.). Наиболее полно изучено влияние шума на слуховой аппарат человека.

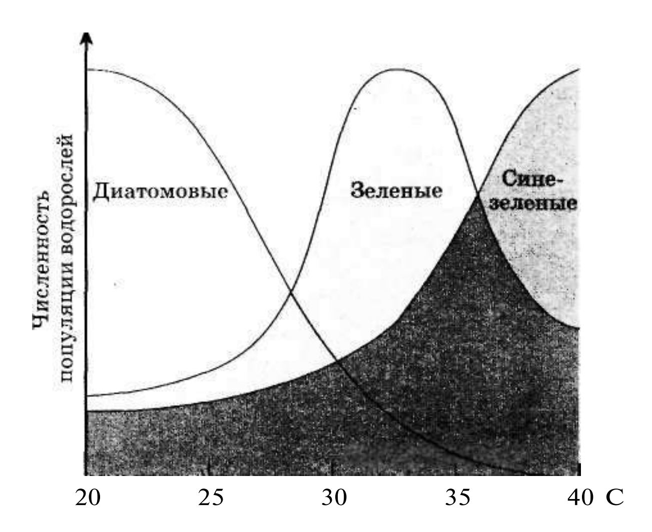


Рис. 9.14. Последовательность смены видового состава и формирования сообщества водорослей, вызываемая тепловым загрязнением (по *Н. Ф. Реймерсу)*

При шуме на уровне более 90 дБ у человека постепенно возникает ослабление слуха (тугоухость), нервно-психологический стресс (сильное угнетение или, наоборот, сильное возбуждение нервной системы), язвенная болезнь, гипертония и т. д. При очень высоком шуме (более **110** дБ) возникает **звуковое опьянение**[1]**;** при шуме на уровне 120—**130** дБ находится порог болевых ощущений, а далее начинается разрушение тканей тела, прежде всего слухового аппарата; при шуме на уровне более 145 дБ у человека происходит разрыв барабанных перепонок.

В субъективном восприятии шума значительную роль играет эмоциональный фактор. Женщины менее устойчивы к сильному шуму, в условиях звукового дискомфорта у них быстрее возникают признаки неврастении. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) наиболее чувствительны к шуму такие операции, как слежение, сбор информации и мышление. Неблагоприятное воздействие шума зависит и от индивидуального отношения к нему; так, интенсивные звуки, производимые самим человеком, не беспокоят его, а небольшой посторонний шум может вызвать сильный раздражающий эффект. Экологическое объяснение этого очевидно —

[1] Звуковое опьянение — возбуждение, возникающее в результате резонанса клеточных структур под действием громких ритмичных звуков.

за миллионы лет эволюции человек, как и любой иной имеющий слух биологический вид, разделял звуки на хорошо слышимые собственные и преимущественно плохо слышимые посторонние. Последние воспринимались в качестве сигналов, в том числе и о возможной опасности, и требовали обязательной реакции. Отсутствие или нарушение нормального слуха гарантирует в природных условиях быструю гибель. Хорошо известно, что при потере зрения слух у человека обостряется.

В соответствии с законами экологии и прежде всего с законом Шел форда любой фактор среды обитания, в том числе и физический, угнетающе действует на организмы биоценоза не только при избыточно большом значении, но и при его недостаточности. Полное отсутствие звуков воспринимается как ненормальная ситуация, ярко характеризуемая известными терминами «пугающая» и «зловещая» тишина. Наилучшие условия для отдыха (в частности, для сна) создаются при тихих звуках спокойной природы — тихий шелест листвы, негромкое пение птиц, слабые звуки морского прибоя. Известны примеры того, как один и тот же человек может полноценно отдыхать и даже спокойно спать при достаточно громких, но привычных ему звуках в хорошо знакомых условиях и никак не может заснуть в значительно более тихом, но новом месте.

По субъективным ощущениям звуковое опьянение аналогично алкогольному и наркотическому. Оно является причиной широкого успеха шумной ритмичной музыки как в современных условиях, так и у дикарей.

Кроме интенсивности звука, экологически значима и его частота. Внезапные резкие звуки переносятся особенно
ло, если они имеют высокую частоту (диапазон 1—4 кГц для человека).

Наиболее распространенный и мощный источник городского шума — транспорт, обычно создающий 60—80% шума, воздействующего на человека в местах его пребывания. Авиационный транспорт — источник антропогенного шума практически самого высокого уровня. Больший шум создается при старте космических ракет, при выстрелах и взрывах.

При частотах звука ниже 20 Гц (в диапазоне *инфразвука*) наиболее заметные нарушения в жизнедеятельности организмов возникают из-за явления резонанса (резкого возрастания амплитуды колебаний) при совпадении частоты внешнего воздействия с частотой собственных колебаний отдельных внутренних органов. Так, у человека частоты 6—12 Гц соответствуют собственным колебаниям органов, а частота

7 Гц — а-ритмам мозга. Инфразвук большой мощности может вызвать остановку сердца человека.

В природе инфразвуки обычно являются сигналами о приближающихся землетрясениях, извержениях вулканов, перед штормами и прочими экстремальными природными явлениями, что побуждает животных к действиям в поисках спасения. Таким образом, антропогенные инфразвуки создают ощущение психологического дискомфорта, развивают безотчетное чувство страха. Подобную реакцию вызывают звуки пролетающих тяжелых вертолетов, движущихся тяжелых машин, работающих прессов и ряд иных источников.

Ультразвуки (звуки с частотой более 16—20 кГц) антропогенного происхождения воздействуют практически только на локальном уровне; например, известно вредное влияние, оказываемое ультразвуковой установкой на обслуживающий ее персонал.

Специфической формой акустического загрязнения является звуковой удар — ударная волна, возникающая при прохождении самолетом звукового барьера, когда его скорость становится больше скорости распространения звуковых волн в воздушной среде. Ударная волна с громоподобным звуком достигает поверхности Земли. Скачкообразное повышение избыточного давления определяет эффект внезапности, неожиданности, что вызывает реакцию беспокойства у живых организмов. Воздействие звукового удара кратковременно, возмущение длится около 0,2—0,3 с.

Звуковой удар обычно сопровождается вибрацией отдельных элементов конструкций зданий и сооружений. У животных эта вибрация усугубляет реакцию на удар, а в костной природе она воздействует на неустойчивые элементы подстилающей земной поверхности, способствуя (ускоряя начало) сходу снежных лавин, камнепадам и другим явлениям. Отдельные виды животных особенно чувствительны к звуковому удару. Это прежде всего скаковые лошади, северные олени, морские котики. Звуковые удары могут косвенно сказаться на потомстве птиц, гнездящихся на скалах.

Изменений в поведении обитателей водной среды при воздействии звуковых ударов не отмечено, что, возможно, объясняется сильным ослаблением доходящей ударной волны. В целом вопрос считается мало изученным и требует осторожного подхода при оценке воздействия звукового удара, особенно на человека.

Вибрационное загрязнение. Такое загрязнение является близким к шумовому и характеризуется в значительной мере аналогичными показателями. Основное различие заключается в том, что вибрация распространяется только в твердых телах, а звук — в любых средах. Поэтому на живые организмы вибрация воздействует только при поверхностном контакте через опорные поверхности. У человека под действием вибрации развивается особая вибрационная болезнь.

Вибрация антропогенного происхождения, как и ультразвуки, в настоящее время оказывает только локальное воздействие на экосистемы. Преимущественно изучено и нормируется антропогенное вибрационное загрязнение среды обитания человека в процессе труда, а именно, производственно-транспортная вибрация.

Электромагнитное загрязнение. Оно возникает в результате изменения свойств среды и значительного (порой в сотни раз) превышения интенсивности излучения антропогенных источников относительно природного фонового излучения. Особенно важное значение оно приобретает в связи с интенсивным развитием электронных систем управления, работа которых может быть серьезно дезорганизована.

Существенная особенность искусственных источников электромагнитного загрязнения биосферы в отличие от природных — высокая когерентность (частотная и фазовая стабильность) и большая интенсивность излучения в тех или иных областях частотного спектра.

Эффект биологического действия зависит от количества поглощенной энергии, частоты и геометрических размеров поглощающего объекта. В диапазоне сверхвысоких[1] частот (СВЧ) поглощается 40—50% падающей энергии (остальное отражается), глубина проникновения в биологические ткани равна примерно 1/10 длины волны.

Неионизирующие излучения поглощаются биологическими системами; при этом электромагнитная энергия трансформируется в кинетическую, вызывая общий нагрев тканей по всей глубине проникновения внутрь организма. Если количество поступающей энергии превышает допустимое количество энергии, которое может быть отведено механизмом терморегуляции теплокровных животных, то ее избыток вызывает постепенное повышение температуры тела. Это сначала ведет к нарушению функционирования соответствующих органов,

[1] Диапазон частот $3 \cdot 10^{8} - 3 \cdot 10^{11}$ Гц (300 МГц — 300 ГГц).

а в предельном случае возникают очаги локального распада биологических тканей. Тепловые процессы, происходящие при воздействии электромагнитных полей на биологические ткани, используют при создании современных бытовых СВЧ-печей.

Помимо термического действия, переменные электромагнитные поля оказывают и сложное биологическое действие, в значительной степени зависящее от частоты колебаний: с повышением частоты (уменьшением длины волны) биологическое действие становится более выраженным.

Наиболее высока чувствительность организмов к многократным воздействиям электромагнитных полей, когда начинает проявляться кумулятивный эффект; реакция возникает в результате ряда действий, каждое из которых самостоятельно не вызывает реакции. Такие суммарные эффекты наблюдаются и при длительном непрерывном воздействии электромагнитных излучений.

При комбинированном воздействии электромагнитных полей и других неблагоприятных физических факторов (шум, тепловое воздействие) отмечается снижение приспособляемости организма человека к ним.

Мощные антропогенные источники электромагнитного излучения — современные линии электропередач (ЛЭП) с открытыми распределительными устройствами, телерадиоцентры и ретрансляторы, радиолокаторы, радиотехническое и радиотрансляционное оборудование систем управления воздушным движением, навигацией и посадкой в авиации, объекты систем противовоздушной обороны, а также другие гражданские и военные устройства и объекты.

Ионизирующее (радиационное) загрязнение биосферы. Это загрязнение связано с превышением естественного уровня ионизирующих излучений. Оно началось в 1933 г., когда приступили к планомерным работам по изучению радиоактивности. Ионизирующее загрязнение включает и радиоактивное загрязнение среды из-за превышения природного уровня содержания радиоактивных веществ.

Источники ионизирующего загрязнения — это предприятия атомной промышленности и энергетики, медицинские, биологические и другие учреждения, использующие радиоактивные препараты и изотопы, приборы медицинской и технической (рентгеновской) диагностики, а также ядерные взрывы. Искусственное ионизирующее излучение (электроны, позитроны, протоны, нейтронные и другие атомные ядра и элементарные частицы, а также электромагнитное излучение гамма-,

рентгеновского и оптического диапазонов) возникает преимущественно на созданных человеком ускорителях заряженных частиц.

С развитием телевидения и особенно с широким внедрением компьютерной техники (в том числе с появлением ее в быту) обострилась проблема воздействия ионизирующих (в том числе рентгеновских) излучений на человека, потому что электронно-лучевые трубки телевизионных приемников и видеомониторов являются источниками этих излучений.

Количество радиоактивных изотопов, включающихся в пищевые цепи, определяется не только тем, сколько их выпало из воздуха или слито в водоем, но также структурой экосистемы и особенностями ее биохимических циклов. В малокормных местообитаниях в пищевые цепи включается большая доля изотопов. В богатой среде высокая скорость обмена и большая сорбирующая емкость почвы или донных отложений обеспечивают значительное разбавление загрязнений. В растения они попадают в относительно небольшом количестве. По пищевым цепям радиоактивные изотопы доходят и до человека.

Мощные источники радиоактивных отходов — исследовательские технологические и энергетические ядерные реакторы, заводы по переработке ядерных материалов, атомные электростанции (АЭС). К началу 90-х годов XX в. в мире действовало более 350 энергетических реакторов общей мощностью более 250 млн кВт. Доля ядерной энергетики к концу XX в. приближалась к 20% общей мировой выработки электроэнергии. В некоторых странах АЭС превалируют среди прочих источников электроэнергии. В 1986 г. в Швейцарии на них вырабатывалось 39% электроэнергии, в Бельгии — 50%, во Франции — до 80%. Причина заключается в ряде значительных экологических преимуществ АЭС перед иными традиционными источниками энергии и особенно перед тепловыми электростанциями, работающими на угле. Так, известно, что активность радионуклидов, содержащихся в 1 кг угля, в среднем составляет: урана — до 50 Бк[1], тория — около 300 Бк, калия^{40} — 70 Бк:. В угольных шлаках концентрация радиоактивных веществ может быть еще больше, в связи с чем их использование как наполнителей в бетонных конструкциях нежелательно. Повышенный радиационный фон — характерное

[1] Активность ядерных превращений радионуклидов. Измеряется в беккерелях (Бк); 1 Бк = 1 распад/с.

явление для территорий, прилегающих к крупным угольным теплоэлектростанциям.

Тем не менее использование человеком атомной энергии таит в себе большие проблемы, главные из которых — утилизация отработанного ядерного топлива и аварии с утечкой в окружающую природную среду радиоактивных веществ.

Одно из самых радиационно грязных мест на планете — озеро Карачай под Челябинском. В него соседний с озером комбинат «Маяк» сбросил радиоактивных веществ в 100 раз больше, чем их попало в ОС при аварии на Чернобыльской АЭС. В конце 90-х годов зона радиационного влияния озера начала распространяться в сторону речки Мишляк, которая через реки Теча, Тобол и Обь связана с Северным Ледовитым океаном.

Кроме того, во всем мире для бытовых и медицинских целей широко используют потребительские товары, содержащие естественные радионуклиды. К ним относятся часы со светящимся циферблатом, содержащие радий, специальные оптические приборы, аппаратура, применяемая в аэропортах и при таможенном досмотре, аппаратура медицинской рентгеноскопии и др.

9.1.5. Энергопотребление и биосфера

За всю историю существования человечество израсходовало около 900—950 тыс. ТВт-ч[1] энергии всех видов. Исторически развитие (увеличение) потребления энергии на планете шло неравномерно. На графике (рис. 9.15) показано, что резкое возрастание потребления энергии началось в XX в., причем $^2/_3$ израсходованной человеком энергии приходится на последнюю половину века. Важная особенность современного потребления энергии — его неравномерность для жителей разных стран. В доисторическую эпоху каждый человек, использовавший лишь свою мускульную силу, тратил приблизительно одинаковое количество энергии. В наше время неравномерность удельного потребления энергии огромна и для различных стран она достигает соотношения 1 : 40, при этом неравномерность потребления электроэнергии еще больше. В Скандинавии на одного жителя приходится более 14 000 кВт • ч электроэнергии в год, а в Индии — около 100 кВт • ч.

[1] ТВт — тераватт, где *тера* — приставка, соответствующая множителю 10^{12}.

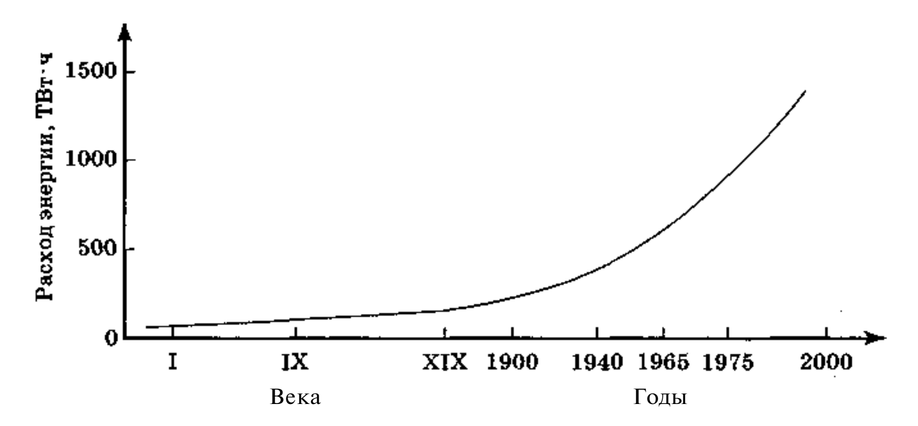


Рис. 9.15. Изменение расхода энергии на нужды человечества за последние 2 тыс. лет (по *В. А. Веникову)*

Уровень жизни населения разных стран напрямую зависит от обеспеченности энергией (рис. 9.16).

В то же время удельное потребление энергии определяется рядом факторов, главным образом климатических. Так, в нашей стране в середине 80-х годов XX в. на единицу национального дохода тратилось топливных ресурсов в 4,5 раза больше, чем в США, и в 6 раз больше, чем в Японии. Это связано с тем, что Россия — самая холодная из обитаемых стран. Эффективно используемая (густо населенная) территория Финляндии, Норвегии, Исландии и Канады имеет значительно более мягкий климат, чем Россия.

Увеличение расходования энергии происходит с развитием цивилизации. Технический прогресс и развитие общества с доисторических времен были связаны с количеством и качеством используемых энергоресурсов. Освоение природных энергетических ресурсов стимулировало создание машин, позволивших переложить на них значительную часть физического, а в наше время и умственного труда. Совершенствование машин все больше и больше освобождало человека для творческой работы, занятий науками, искусством, литературой — всего того, что принято называть культурой.

Достигнутый уровень техники позволил использовать качественно новые виды энергии, в первую очередь электрической. Основными отличительными особенностями электроэнергии является возможность легкой передачи на большие расстояния и относительная простота преобразования ее в другие виды энергии при малых потерях.

Без электроэнергии жизнь современного общества невозможна. Печальным примером этого служит авария 1965 г. в США, когда значительная часть территории страны, включая Нью-Йорк, на 14 ч полностью оказалась без электроэнергии. Жизнь в крупных городах была парализована: остановился транспорт, перестали работать лифты, установки кондиционирования воздуха, погас свет, отключились все виды связи. Предприятия прекратили работу, в городе начались происшествия и преступления. Авария принесла большие материальные убытки и тяжелые моральные потрясения.

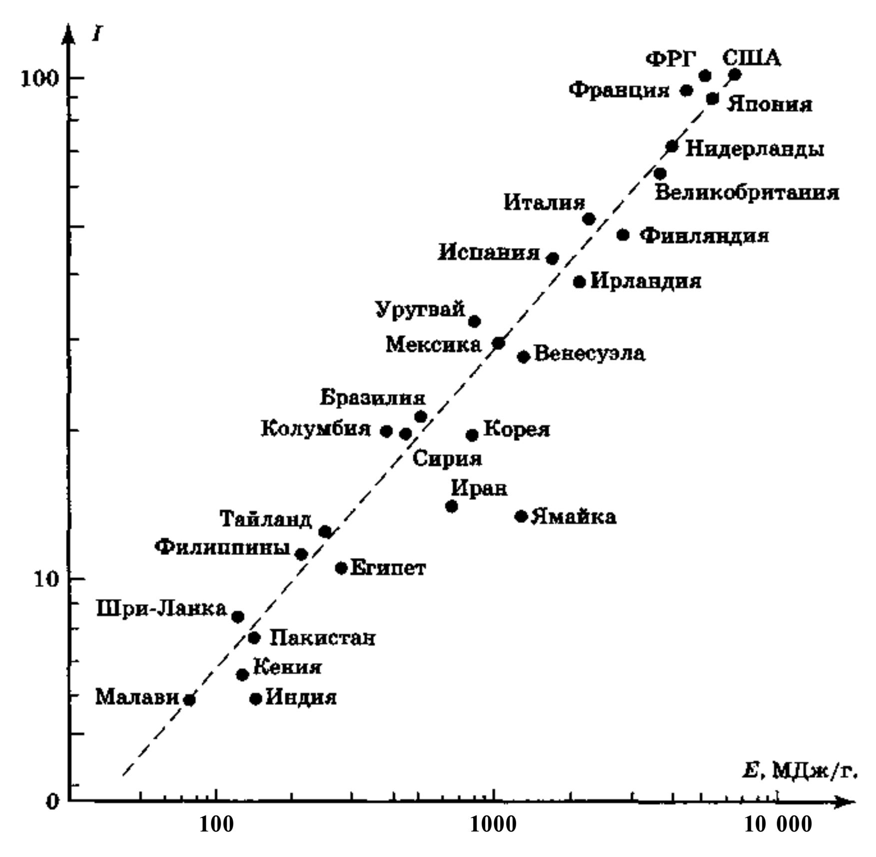


Рис. 9.16. Взаимосвязь уровня потребления энергии и уровня жизни населения **в 1980** г. (по *Т. А. Акимовой, В.* ***В.*** *Хаскину):* ***I*** — индекс чистого дохода, вычисленный по действительной стоимости большого набора товаров и услуг (/ = 1 соответствует приблизительно 22,5 долл. США); *Е* — потребление энергии на одного жителя разных стран в кг угольного эквивалента **(29,3** МДж/г)

Масштабы выработки и потребления энергии человечеством столь велики, что соизмеримы с природными явлениями (табл. 9.7).

Таблица 9.7

Сравнительная мощность техногенной энергии и природных явлений

Энергетический объект или явление природы	Мощность, ТВт
Все установки по выработке энергии,	8—9
в т. ч. электростанции	1,5
Испарение влаги с поверхности Земли	0,5
Приливы	2—5
Землетрясения	1,5—100

Мировые запасы минерального топлива оцениваются в 12,5 трлн тут[1], а запасы, которые могут быть извлечены из недр Земли экономически оправданными методами, составляют около 4 трлн: тут. При этом 80% запасов составляет уголь и по 10% — нефть и природный газ. Считается, что этого количества, а также запасов торфа, сланцев, урана и тория в расчете на уровень потребления в 2000 г. хватит человечеству ориентировочно на 300 лет.

На территории нашей страны находится более 50% мировых запасов угля, более 30% газа, 60% торфа и более 40% горючих сланцев. Извлекаемые запасы минерального топлива оцениваются примерно в 2 трлн тут, 80% которых составляет уголь и 5% — природный газ.

Поскольку, с одной стороны, энергетика — основа развития современных отраслей народного хозяйства, а с другой стороны — в наши дни не найдено ни одного источника энергии, использование которого не влияло бы существенно (прямо или косвенно) на биосферу, человечество активно ищет выход из этого тупикового состояния. Наиболее правильными являются следующие два направления решения этой задачи.

[1] Тут — тонна условного топлива. За условное принимают такое топливо, которое имеет теплоту сгорания 29,3 МДж (7000 ккал) на 1 кг твердого или 1 $м^3$ газообразного вещества. При технико-экономических расчетах использование понятия «условное топливо» позволяет сравнивать органическое топливо (и даже электроэнергию) разной тепловой ценности.

Прежде всего следует рациональнее использовать имеющиеся энергетические мощности, т. е. снижать энергопотребление путем перехода на энергоэкономные технологии и снижения потерь. Ярким примером служат достижения Японии. Страна, обладающая ничтожными собственными природными ресурсами, далеко «отстающая» по выработке электроэнергии на душу населения от России и многих развитых стран мира, заняла одно из первых мест по производству промышленной продукции, лидируя в новейших отраслях.

Кроме того, необходимо совершенствовать технологию выработки энергии (включая добычу и перевозку топлива, передачу электроэнергии и т. п.), а также структуру выработки энергии, шире использовать экологически более совершенные методы выработки и виды топлива.

Нельзя рассчитывать на полноценное решение проблемы путем очистки газов, выбрасываемых энергетическими объектами в атмосферу. Многократно доказано, что газоочистка, увеличивая стоимость выработки энергии примерно в 1,5 раза, сама требует дополнительных затрат энергии и приводит к необходимости решения задачи утилизации уловленных веществ. Тем не менее в некоторых случаях применение устройств очистки дает явный и существенный эффект. Так, все ведущие автомобилестроительные фирмы уже оснащают свою продукцию нейтрализаторами выхлопных газов. Без этого устройства автомобиль не конкурентоспособен на современном рынке. Сегодня трудно быть уверенным, что после перевода всего парка автомобилей на экологически более совершенные виды топлива (такие, как газ) необходимость в нейтрализаторах исчезнет.

Принципиально неверный способ улучшения экологической обстановки в районе расположения энергетического объекта — строительство высоких и сверхвысоких труб (180, 250 и даже 420 м). Сиюминутная выгода при таком «решении» очевидна — увеличение в два раза высоты трубы гарантирует снижение максимальной приземной концентрации загрязняющих веществ в 4 раза [см. (10.24)]. Однако рассеивание примесей по значительно большей территории ни в малейшей степени не снижает общий результат. Для совместной борьбы с трансграничным переносом загрязнений ряд заинтересованных стран Европы подписало международную конвенцию, по которой они обязались в оговоренные сроки уменьшать выбросы оксидов серы.

9.1.6. Антропогенные чрезвычайные ситуации, войны

Чрезвычайными ситуациями (ЧС) называют аварии, катастрофы **с** многочисленными человеческими жертвами, существенными материальными потерями, серьезными экологическими последствиями и (или) нарушениями условий жизнедеятельности людей.

По мере роста производительности промышленных производств, расширения сфер технической деятельности человека увеличивается количество техногенных аварий и число пострадавших в них. Появление новых опасностей обусловлено развитием цивилизации. В качестве примера ниже представлена хронология появления химических опасностей в XX в.:

Год	Тип опасности и место происшествия
1915	Применение химического оружия — хлора (Ипр, Бельгия)
1917	Промышленный выброс хлора (Вайндотт, США) Применение химического оружия — газа иприт
1921	Взрыв нитрата аммония (Оппау, Германия)
1935	Огненный шар при аварийном запуске ракеты (Германия)
1943	Огненный шторм (Гамбург, Германия) Взрыв парового облака (Людвигсхафен, Германия)
1945	Применение ядерного оружия (Хиросима и Нагасаки, Япония) Применение бактериологического оружия (Манчжурия)
1957	Ядерная авария при производстве плутония (Уиндскейл, Великобритания)
1968	Разлив аммиака (Лион, Франция)
1976	Трудноустранимое токсичное заражение (Севезо, Италия)
1985	Выброс метилизоцианата (Бхопал, Индия)
1986	Ядерная авария на Чернобыльской АЭС (СССР)

Неблагоприятная политическая и экономическая обстановка в 90-х годах XX в. в России привела к тому, что технический парк промышленных и транспортных предприятий не только морально, но и физически устарел, что способствовало росту количества чрезвычайных ситуаций, наносящих непоправимый ущерб ОС. В табл. 9.8 приводятся данные по ЧС в Российской Федерации за последнее десятилетие.

Таблица 9.8

Чрезвычайные ситуации техногенного характера за период с 1991 по 2000 гг.

<table>
<tr><th rowspan="2">Тип ЧС</th><th colspan="10">Количество ЧС по годам</th></tr>
<tr><th>m i</th><th>1992</th><th>1993</th><th>1994</th><th>1995</th><th>1996</th><th>1997</th><th>1998</th><th>1999</th><th>2000</th></tr>
<tr><td>Крушения, аварии, столкновения с пассажирскими поездами на железных дорогах</td><td>413</td><td>12</td><td>—</td><td>88</td><td>52</td><td>23</td><td>19</td><td>15</td><td>10</td><td>7</td></tr>
<tr><td>Аварии на грузовых и пассажирских судах</td><td>—</td><td rowspan="3">298</td><td>—</td><td>—</td><td>13</td><td>23</td><td>34</td><td>24</td><td>21</td><td>25</td></tr>
<tr><td>Авиационные катастрофы</td><td>—</td><td>—</td><td>35</td><td>42</td><td>40</td><td>31</td><td>31</td><td>29</td><td>16</td></tr>
<tr><td>Крупные автокатастрофы</td><td>171</td><td>—</td><td>177</td><td>184</td><td>153</td><td>151</td><td>124</td><td>98</td><td>91</td></tr>
<tr><td>Аварии на магистральных и крупных внутрипромысловых трубопроводах</td><td>53</td><td>—</td><td>32</td><td>38</td><td>48</td><td>62</td><td>81</td><td>63</td><td>46</td><td>38</td></tr>
<tr><td>Аварии на промышленных и сельскохозяйственных объектах</td><td>—</td><td>430</td><td>238</td><td>256</td><td>262</td><td>248</td><td>250</td><td>152</td><td>108</td><td>84</td></tr>
</table>

Обнаружение (утрата) взрывчатых веществ (боеприпасов) в населенных пунктах	—	—	—	14	35	38	66	33	42	15
Аварии с выбросом (угрозой выброса) аварийно химически опасных веществ	18	34	—	73	78	74	96	91	97	38
Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ	37	8	—	—	11	16	28	28	15	19
Аварии в зданиях жилого и социально-бытового и культурного назначения	—	—	—	309	321	289	304	274	303	194
Аварии в системах жизнеобеспечения	—	55	—	69	42	68	114	120	87	79
ВСЕГО	692	837	—	1059	1088	1034	1174	955	856	606

* Данные Государственных докладов о состоянии окружающей природной среды в РФ за соответствующий год. Прочерки означают отсутствие информации.

Затраты на проведение аварийно-спасательных работ, восстановление разрушенных зданий и предприятий, помощь населению стали сказываться на экономике России в целом.

Войны. В любые времена военные конфликты сопровождаются негативными последствиями для биосферы. По мере развития цивилизации эти последствия из локальных стали глобальными. Вопрос о том, сколько раз та или иная держава своим ядерным запасом может уничтожить земной шар — чисто риторический. Земной шар один, и уничтожить его можно только один раз.

Например, при ядерном варианте снаряжения мощность заряда одной крылатой ракеты «Томагавк» составляет 200 кт — в 16 раз больше, чем у атомных бомб, сброшенных американцами на Хиросиму и Нагасаки. Один стратегический бомбардировщик В-1В имеет бомбовую нагрузку 61 **000** кг, в том числе 12 крылатых ракет, а бомбардировщик В-52 «Стратофоресс» — боевую нагрузку до 30 **000** кг.

Во время только первого этапа контртеррористической операции США в Афганистане в конце 2001 г. помимо 50 крылатых ракет для ударов по позициям талибов (сторонников международных террористов) американские войска применили около 50 крылатых ракет и большое количество авиабомб, предназначенных для разрушения подземных коммуникаций. Авиабомбы ВВС США, используемые для этих целей, имеют вес 4536, 5443, 6800 кг, а самая мощная — 9980 кг (в том числе около 9 т тротила). При применении столь мощного оружия горные ущелья «складываются» как картонный ящик.

Действительно, трудно не согласиться, что требование решить боевую задачу, поставленную военным командованием любой страны, и требования по охране ОС являются практически несовместимыми. В век ракетно-ядерной техники мировая война недопустима, ибо может привести если ни к полному уничтожению всего живого на Земле, то к созданию условий среды, не приемлемых для человека.

Но и неядерные конфликты наносят невосполнимый ущерб биосфере. В ходе войны во Вьетнаме в 60—70-х годах армия США широко применяла напалм, выжигавший леса, в которых находились партизаны. Ущерб, нанесенный при этом природе, не восполним, экосистемы уничтожены безвозвратно.

Ядерная война. Последствия ядерного удара для окружающей среды зависят в первую очередь от мощности заряда и характера пораженного объекта. При ядерных взрывах в атмосферу выбрасываются радиоактивные вещества, образуется

ударная волна, световое излучение, начинаются пожары, вследствие чего в воздух поступает большое количество сажи, пыли и диоксида углерода. Пыль и сажа закрывают доступ солнечным лучам к поверхности Земли. По расчетам Вычислительного центра АН СССР, выполненным в 1983 г. под руководством акад. П. Н. Моисеева, далее у поверхности земли и в нижних слоях атмосферы понизится температура и установится «ядерная зима», а затем повсеместно изменится климат планеты. Скорее всего, в результате ядерного удара биосфера в ее настоящем виде перестанет существовать, но главное, неизвестно, найдется ли в новой биосфере место для человека.

9.2. Экологический риск

Экологический риск — мера экологической опасности, которая рассматривается в двух основных аспектах:

- вероятность нарушения природного равновесия, т. е. эволюционно сложившейся саморегулирующейся системы связей в биосфере, обеспечивающей стабильность такой природной среды, к которой адаптирован человек;
- вероятность агрессивного воздействия факторов окружающей среды непосредственно на человека, которое может привести к ухудшению здоровья и даже к преждевременной смерти отдельных людей или групп населения; снижению жизнеспособности человеческой популяции в виде повышения генетического груза, тератогенных эффектов (появлению уродств), снижению иммунитета, повышению уровня заболеваемости и смертности.

Экологический риск R может быть оценен количественно как произведение

$$R = PУ,$$

где p — вероятность негативного воздействия источника опасности на население, экосистемы или иные природные объекты; $у$ — предполагаемая величина ущерба от этого воздействия.

Оценка риска не может быть точной, ибо экологической опасности в силу ряда причин свойственна стохастичность (неопределенность). При обсуждении проблемы экологического риска, как правило, имеются в виду последствия техногенных воздействий на окружающую среду и на человека; при этом важно учитывать:

- *кумулятивный эффект* любых долговременных воздействий на природные объекты (организмы, экосистемы и пр.), т. е. существенное увеличение и накопление действия со временем, зачастую приводящее к резким качественным изменениям путем суммирования слабых количественных сдвигов;
- *нелинейность дозовых эффектов* воздействий на живые организмы, выражающаяся в виде непропорционально сильных биологических эффектов от воздействия небольших доз, что связано с повышенной чувствительностью организмов к слабым (информационным) воздействиям. Слабые воздействия приводят к изменениям поведения живых существ. Воздействия средней интенсивности вызывают стрессовую реакцию и, как правило, включают механизмы сопротивления организма. Сильные воздействия нарушают жизнедеятельность, повышают вероятность смерти;
- *синергическое (совместное) действие различных факторов* среды на живое, которое нередко приводит к неожиданным эффектам, не являющимся суммой ответов на оказанные действия. Действие одного фактора может как усиливать, так и ослаблять либо качественно изменять эффекты воздействий других;
- *индивидуальные различия* живых существ (в том числе и людей) в чувствительности к действию факторов среды и в сопротивляемости неблагоприятным изменениям. Фактически здесь действуют механизмы естественного отбора, сила- которого многократно возрастает в эпоху техногенного изменения природной среды;
- *отсроченный характер* изменений в популяционных характеристиках человека. Анализ последствий чернобыльской катастрофы выявил отсутствие границы между эффектами радиационных и химических поражений, а также относительность определения пороговых и допустимых доз, ибо в природной среде невозможно вычленить эффект воздействия какого-либо одного фактора. Общая агрессивность техногенной среды приводит к бесплодию, повышению смертности зародышей и новорожденных, появлению неблагоприятных мутаций и врожденных уродств.

Следовательно, нормирование экологического риска и опасности основывается на оценке источников опасности и на исследовании главным образом устойчивости и экологической

емкости природных экосистем, а также на определении «запаса прочности организма человека» — способности к гомеостатической регуляции.

Факторы экологического риска. Их подразделяют на две частично перекрывающиеся группы: естественные и антропогенно обусловленные. К естественным относятся:

- геологические факторы и катастрофы (землетрясения, извержения вулканов, оползни и сели и т. п.);
- климатические явления (засухи, бури, тайфуны, цунами);
- иные природные бедствия (повышение патогенности возбудителей болезней, нашествия саранчи, волны массовой миграции грызунов и пр.).

Многие из этих явлений причинно связаны с изменениями солнечной активности и геомагнитными явлениями, однако интенсивная хозяйственная деятельность человека влияет на возникновение и течение названных природных процессов.

Антропогенно обусловленные факторы экологического риска многообразны. Это радиационная опасность, риск от использования загрязненной или недостаточно обогащенной необходимыми элементами питьевой воды, эпидемиологический риск, зависящий как от загрязнения воды и почвы бытовыми стоками, так и от географического распространения возбудителей заболеваний.

Глобальный риск для всего живого населения планеты связан с разрушением озонового слоя, изменениями климата вследствие накопления парниковых газов в атмосфере и тепловым излучением крупных промышленных и населенных центров, уничтожением лесов (как тропических, так и северных) — мощного источника кислорода и регуляторов климата планеты.

Крупномасштабные преобразования природы — распашка целинных земель, строительство гигантских ГЭС с устройством крупных водохранилищ и затоплением пойменных территорий, проекты поворота рек, строительство крупных агропромышленных комплексов, осушение болот — все это мощные факторы экологического риска для природы и человека.

Важное место среди факторов экологического риска занимает загрязнение всех сред жизни (воздушной, водной и почвенной) отходами промышленного и сельскохозяйственного производства и бытовыми отходами.

Большая группа факторов экологического риска для человека связана с особенностями питания. Это фальсифицированные и недоброкачественные продукты, а также пища с высо-

ким содержанием химических экотоксикантов, несбалансированная по энергетической ценности, содержанию белков, жиров, углеводов, витаминов и микроэлементов. Проживание в сельскохозяйственных районах, где широко применяются пестициды, гербициды и складируются избыточные количества минеральных удобрений, для людей также сопряжено с экологическим риском.

Огромен экологический ущерб и риск от эрозии почв, при которой происходит не только уничтожение гумусового плодородного слоя в районе бедствия, но появляются и распространяются пыльные бури, нарушающие жизнеспособность смежных экосистем. Уничтожение лесных ресурсов, разрушение региональных экосистем несет опасность не только обитателям данного региона, но и являются факторами риска для всей биосферы.

Факторами риска, вызванного техногенными воздействиями, являются также наведенная сейсмичность, превышение уровня электромагнитных излучений над природным фоновым, что имеет место в больших городах, на предприятиях, в районе станций ретрансляции, линий электропередач, а также в жилищах, перегруженных бытовой техникой.

Большая группа факторов риска связана с техногенными катастрофами и военными действиями. Сопровождающие их пожары не только разрушают локальные природные экосистемы, но и ведут к изменениям атмосферы — насыщение парниковыми газами, сажей, другими продуктами горения, распространяющимися далеко за пределы региона военных действий. Ко вторичным факторам риска относятся и социальные последствия войн и экологических катастроф: массовые заболевания, появление «экологических беженцев» — волн миграции из района бедствия и т. п.

При всей важности перечисленного все же главным фактором риска и опасности для жизни современного человечества на Земле является снижение биологического разнообразия (уничтожение видов живых существ), ведущее к потере устойчивости и разрушению природных экосистем всех уровней.

Концепция экологической безопасности и снижения риска. Она основывается на способности природных экосистем к саморегуляции и к самоочищению. Автоматически регулировать состояние природной среды таким образом, чтобы сохранялись качество воды, почвы и воздуха, пригодность их для использования живыми существами способна только биота. Достигается это многообразием механизмов ре-

гуляции численности организмов, каждый из которых играет особую роль в круговороте биогенных веществ в биосфере.

В качестве примера рассмотрим средообразующую роль лесной экосистемы. Продукция и биомасса леса являются запасами органического вещества и накопленной энергии, созданными в процессе фотосинтеза растениями. Интенсивность фотосинтеза определяет скорость поглощения диоксида углерода и выделения кислорода в атмосферу. Так, при образовании 1 т растительной продукции в среднем поглощается 1,5—1,8 т $C0_2$ и выделяется 1,2—1,4 т 0_2. Биомасса, включая и мертвое органическое вещество, — основной резервуар биогенного углерода. Часть этого органического вещества выводится из круговорота на длительное время, образуя геологические отложения.

Во влажных районах накопление органики происходит в основном в болотах, где этому способствуют недостаток 0_2 и кислая среда. Вода в болотах проходит многократное физическое, химическое и биологическое очищение от вредных примесей и загрязнений. Экотоксиканты, попадая в цепи питания, накапливаются в живых организмах, а затем попадают в мертвую органику. Вода в процессе природной биологической очистки возвращает свою чистоту, а также обогащается витаминами и микроэлементами. Кроме того, болота играют в биосфере важнейшую роль как источники многих водных артерий (рек и ручьев).

Леса обладают высокой пылепоглощающей способностью: они способны осаждать до 50—60 т/га пыли в год. Биомасса леса очищает воздух от химических токсикантов. Это происходит как путем осаждения на поверхности листьев и стволов растений, так и за счет аккумуляции в органическом веществе при включении токсикантов в обмен веществ растений, грибов, животных. После их смерти химические токсиканты поступают в органическое вещество почвы, где могут быть в значительной мере деструктированы (разложены) и обезврежены.

Лесные и болотные экосистемы в значительной мере влияют на метеорологические процессы. Чем значительнее их биомасса, тем больше поверхность ее контакта с воздушной средой. Существенна также и гидрологическая роль лесных и болотных экосистем: из-за повышенной влажности воздуха над ними выпадает больше осадков.

Пары воды, попадающие в атмосферу в результате транспирации растений, по их доле в круговороте воды сравнимы с суммарным речным водотоком. В целом из-под лиственного

леса на питание грунтовых вод за год поступает (например, в Московской области) 2080 $м^3$ влаги с гектара.

Меры по снижению экологического риска. Экологическая безопасность — важнейший элемент безопасности государства и каждого отдельного человека. В России, как и в других государствах, принят ряд законов, направленных на охрану природной среды и здоровья человека. В нашей стране даже сформировалась отдельная отрасль законодательства, названная «экологическим правом» (см. разд. 10.1).

Снижению экологического риска и опасности служат основные принципы «экоразвития», т. е. концепции социально-экономического развития, направленного на сохранение и восстановление природной среды:

- сохранение и восстановление естественных экосистем и биоразнообразия;
- охрана здоровья и генофонда человеческой популяции;
- преодоление потребительского отношения к природе и экологической безграмотности при удовлетворении естественных (биологически обоснованных) потребностей человека;
- планирование и развитие производства в соответствии с емкостью и способностью природных экосистем к самовосстановлению;
- приоритетность глобальных требований экологического императива по отношению к региональным нуждам природопользования;
- замена использования невозобновимых природных ресурсов на возобновимые;
- рекультивация земель, восстановление биологических ресурсов;
- эколого-экономическая сбалансированность общественного развития;
- экономическое стимулирование экологически чистых технологий и оборудования;
- предупреждение кризисных экологических ситуаций.

Контрольные вопросы и задания

9.1. Чем объясняется возникновение «парникового эффекта» и каковы его последствия?

9.2. Почему разрушается озоновый слой Земли?

9.3. Из каких источников попадают в атмосферу оксиды серы и азота?

9.4. В какие химические реакции вступает диоксид серы в атмосфере?
9.5. Как называется смесь дыма, тумана и пыли? Быковы экологические последствия ее присутствия в атмосферном воздухе?
9.6. Какие изменения в современной гидросфере связаны с хозяйственной деятельностью человека?
9.7. Оцените роль экологически оптимальных технологий в защите среды обитания организмов от загрязнения.
9.8. Что называют «шумовым загрязнением»? Как оно влияет на здоровье людей?
9.9. Каковы техногенные источники ионизирующих излучений?
9.10. Какая существует зависимость между энергопотреблением и уровнем жизни людей?
9.11. Каковы последствия техногенных чрезвычайных ситуаций и военных действий для экосистем планеты?
9.12. С какими процессами связывают понятие глобального экологического риска?

ГЛАВА **10**

ПУТИ И МЕТОДЫ СОХРАНЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ БИОСФЕРЫ

Стоящая перед современным человечеством задача сохранения ОС главным образом заключается в необходимости сохранения качества этой среды, привычной человеку.

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ **СРЕДЫ** — это комплекс международных, государственных и региональных, административно-хозяйственных, политических и общественных мероприятий по обеспечению физических, химических, биологических параметров функционирования природных систем в пределах, необходимых для здоровья и благосостояния человека.

Существование Человечества без использования природных ресурсов и влияния на ОС невозможно. Иными словами выразил эту мысль русский религиозный философ С. Л. Франк:

> «Экологическая проповедь должна считаться с реальным состоянием человека».

Поэтому важно добиться, чтобы антропогенное воздействие не превышало допустимого уровня. Основные направления совершенствования взаимоотношений Человека с Природой, призванные способствовать преодолению (исключению возникновения) глобального экологического кризиса на современном этапе НТП, описаны в данной главе.

10.1. Основы **экологического права**

В соответствии с Конституцией Российской Федерации от 12.12.93 г.

> «Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением» (ст. 42).

«Каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам» (ст. 58).

Основная форма закрепления государственной экологической политики — экологическое законодательство является самостоятельной отраслью современного российского права. Комплекс правовых норм и правоотношений, регулирующих общественные отношения в сфере взаимодействия общества и природы в интересах настоящего и будущего поколений людей, называется *экологическим правом.*

Субъекты Российской Федерации могут иметь свое экологическое законодательство, так как регулирование экологических правоотношений в соответствии с п. «д» ст. 72 Конституции РФ относится к совместному ведению Федерации и ее субъектов.

Нормативно-правовые акты, содержащие эколого-правовые нормы, являются источниками экологического права. Это в первую очередь Конституция РФ, международные договоры РФ, законы РФ, федеративные договоры РФ, нормативно-правовые акты Президента РФ и Правительства РФ, законодательные и иные нормативно-правовые акты субъектов РФ, ведомственные нормативно-правовые акты, нормативно-правовые акты органов местного самоуправления, локальные акты, а также правовой обычай. Для расширения содержания экологических правовых норм и их толкования важное значение имеют судебные решения Конституционного, Высшего арбитражного и Верховного судов РФ.

Основы современного экологического права были заложены Законом РСФСР от 19.12.91 № 2060-1 «Об охране окружающей природной среды», замененного в настоящее время Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды ».

Новый Закон определяет правовые основы государственной политики нашей страны в области охраны ОС, обеспечивающие *сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов* в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Он регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, воз-

никающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду, как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле.

Федеральный закон от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» ввел в экологическое право ряд более четких, чем применявшиеся ранее, понятий, в том числе следующие:

- *природная среда* (также *природа)* — совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов;
- *окружающая среда* — совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов;
- *компоненты природной среды* — земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство;
- *природный объект* — естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства;
- *антропогенный объект* — объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов;
- *природно-антропогенный объект* — природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение;
- *естественная экологическая система* — объективно существующая часть природной среды, которая имеет пространственно-территориальные границы и в которой живые (растения, животные и другие организмы) и неживые ее элементы взаимодействуют как единое функциональное целое и связаны между собой обменом веществ и энергией.

Соотношение приведенных понятий иллюстрирует рис. 10.1.

Действие Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» распространяется на всю территорию нашей страны, на континентальный шельф, а также на

исключительную экономическую зону[1] Российской Федерации.

В соответствии со ст. 3 вышеназванного Федерального закона хозяйственная и иная деятельность, оказывающая воздействие на окружающую среду, должна осуществляться на основе следующих принципов:

- соблюдение права человека на благоприятную окружающую среду;
- сохранение биологического разнообразия;
- приоритет сохранения естественных экологических систем, природных ландшафтов и природных комплексов;
- охрана, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов;
- научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях устойчивого развития и благоприятной окружающей среды;
- обеспечение снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в соответствии с нормами в области охраны окружающей среды, которого можно достигнуть на основе использования наилучших существующих технологий с учетом экономических и социальных факторов;
- презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности;
- обязательность оценки воздействия на окружающую среду при принятии решений об осуществлении хозяйственной и иной деятельности;

[1] Исключительная экономическая зона (ИЭЗ) Российской Федерации — морской район с особым правовым режимом, находящийся за пределами территориального моря РФ и прилегающий к нему. Территориальное море РФ — морской пояс, примыкающий к сухопутной территории или внутренним морским водам, шириной 12 морских миль, которые отмеряются от исходных линий, определяемых законодательством РФ. Внутренней границей ИЭЗ является внешняя граница территориального моря, а внешняя граница находится на расстоянии 200 морских миль от исходных линий, от которых отмеряется ширина территориального моря.

1 м. миля — 1,852 км.

Границы, юридический статус и иные положения, касающиеся территориального моря и ИЭЗ РФ, определены Федеральными законами «О внутренних морских водах, территориальном море и прилежащей зоне РФ» от 31.07.98 № 155-ФЗ и от 17.12.98 № 191-ФЗ «Об исключительной экономической зоне РФ».

- запрещение хозяйственной и иной деятельности, последствия воздействия которой непредсказуемы для окружающей среды;
- независимость контроля в области охраны окружающей среды;
- платность природопользования и возмещение вреда окружающей среде и пр.

Деятельность, осуществляемая с нарушением природоохранных требований, на основании ст. 56 Федерального закона от 10.01.02. № 7-ФЗ «Об охране ОС» может быть: *ограничена, приостановлена либо прекращена.*

В ближайшее время на основании п. 3 ст. 84 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» в соответствие с ним должны быть приведены все нормативно-правовые акты нашей страны.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

АНТРОПОГЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ —
объекты, созданные человеком для обеспечения его потребностей
и не обладающие свойствами природных объектов



ПРИРОДНАЯ СРЕДА

Компоненты природной среды:	**Природные объекты:**
атмосферный воздух, озоновый слой, околоземное космическое пространство; воды поверхностные и подземные; земля, недра, почвы; растительный и животный миры иные организмы	естественные экосистемы; природные ландшафты; их компоненты
Природно-антропогенные объекты: объекты, созданные человеком, со свойствами природных и имеющие рекреационное и защитное значение; природные объекты, измененные человеком	

Рис. 10.1. Схема соотношения компонентов ОС в терминах Федерального закона «Об охране окружающей среды» от **10.01.02 № 7-ФЗ**

10.1.1. Объекты и субъекты экологического права

Объектами[1] экологического права признаются ***естественные*** экологические системы либо их компоненты.

В соответствии со ст. 4 Федерального закона от **10.01.02 № 7-ФЗ** «Об охране окружающей среды» объекты охраны ОС от загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия подразделяют на следующие группы:

1 — земли, недра, почвы;

2 — поверхностные и подземные воды;

3 — леса и иная растительность, животные и другие организмы и их генетический фонд;

4 — атмосферный воздух, озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство.

Не подвергшиеся антропогенному воздействию естественные экологические системы, природные ландшафты, а также природные комплексы подлежат охране в первоочередном порядке.

Особой охране подлежат:

- объекты, включенные в Список всемирного культурного наследия и в Список всемирного природного наследия;
- заповедники, заказники, памятники природы, национальные, природные и дендрологические парки, ботанические сады, лечебно-оздоровительные местности и курорты, а также иные природные комплексы;
- исконная среда обитания, места традиционного проживания и хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов России;
- континентальный шельф и исключительная экономическая зона РФ;
- объекты, имеющие особое природоохранное значение;
- редкие или находящиеся под угрозой исчезновения почвы, леса и иная растительность, животные и другие организмы и места их обитания.

[1] Объект (от лат. *objectus* — предмет) — предмет (явление), на который направлена какая-либо деятельность субъекта. Объект права — конкретные имущественные и неимущественные блага и интересы, отношения по поводу которых регламентированы законом.

Субъектами[1] права собственности на природные ресурсы являются физические и юридические лица, Российская Федерация и ее субъекты, а также муниципальные образования.

10.1.2. Право собственности на природные ресурсы и право природопользования

Природопользование — взаимодействие человека с природой с целью удовлетворения его потребностей.

Право природопользования — правовые нормы использования человеком ресурсов Природы в соответствии с действующими природоохранными требованиями и нормами.

Человек использует Природу и ее ресурсы в двух качествах: как естественное условие свой жизнедеятельности и как объект хозяйственной и культурной деятельности. Поэтому право свободно находиться на территории природных объектов (лесопарки, водоемы и др.) называется *правом общего природопользования.* Пользование ресурсами Природы для удовлетворения экономических интересов называется *правом специального природопользования.*

10.1.3. Источники экологической информации

Источниками информации в природоохранной сфере являются:

- экологический мониторинг (см. разд. **10.4.7);**
- Государственные кадастры природных ресурсов (см. разд. **10.3.4);**
- Федеральный регистр потенциально опасных химических и биологических веществ — способ государственной регистрации этих веществ;

[1] Субъект (от лат. *subjection* — лежащий внизу, являющийся основанием) — человек, познающий внешний мир (объект); личность. Субъект права — носитель прав и обязанностей; физическое или юридическое лицо, наделенное по закону способностью иметь права и нести юридические обязанности.

- Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды[1] за соответствующий год — официальный документ, подготавливаемый и распространяемый в соответствии со ст. 5 Федерального закона от **10.01.02** № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», о состоянии природных ресурсов, мерах по их охране и т. п.

10.1.4. Экологический вред

В соответствии с Федеральным законом от **10.01.02** № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» понятие «вред окружающей среде» трактуется как «негативное изменение ОС в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов». Причинение окружающей среде вреда вызывает негативные экономические и экологические последствия, поэтому экологическое право выделяет вред экономический и вред экологический.

Вред экономический причиняется экономическим интересам природопользователя. *Вред экологический* — любое ухудшение состояния природной среды, выражающееся в разрыве естественных связей в природе, которое нарушает интересы общества в здоровой, благоприятной для жизни, продуктивной ОС. Он проявляется в нерациональном использовании природных объектов либо' их загрязнении, истощении, повреждении вплоть до уничтожения.

Вред природной среде может быть следствием: 1) нарушения природоохранного законодательства и 2) результатом правомерной, т. е. разрешенной государством деятельности.

Юридические и физические лица, причинившие вред ОС, обязаны возместить его в полном объеме в соответствии с действующими таксами и методиками исчисления размера вреда ОС, а при их отсутствии исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния ОС, с учетом понесенных убытков, в том числе упущенной выгоды (ст. 77 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС»).

Компенсация вреда ОС осуществляется добровольно или по решению суда. Иски о компенсации вреда ОС, причиненно-

[1] С 1991 до 2001 гг. включительно издавался «Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Российской Федерации».

го нарушением законодательства в области охраны ОС, могут быть предъявлены в течение 20 лет.

Во втором случае за правомерный, разрешенный, вынужденный по объективным обстоятельствам вред, выражающийся в форме (виде) негативного воздействия на ОС, взимается соответствующая плата (ст. 16 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС»).

Вред, причиненный здоровью и имуществу граждан (точнее — та часть ущерба, которая оценивается в деньгах), вследствие негативного воздействия окружающей среды, вызванного деятельностью юридических и физических лиц, подлежит возмещению в полном объеме (ст. 79 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС»).

10.1.5. Юридическая ответственность за экологические правонарушения

За нарушение законодательства в области охраны ОС в соответствии со ст. 75 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» установлены следующие виды ответственности: административная, уголовная, дисциплинарная и имущественная.

Административная ответственность. Административная ответственность выражается в применении уполномоченным органом государства мер административного взыскания. В соответствии с гл. 8 «Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях» от 30.12.01 № 195-ФЗ в административном порядке за экологические правонарушения налагаются штрафы:

- на граждан — 1—25-кратный минимальный размер оплаты труда (МРОТ), установленной в РФ;
- на должностных лиц — 3—200-кратный размер МРОТ;
- на юридических лиц — 30—3000-кратный размер МРОТ.

Лица, допустившие нарушения природоохранного законодательства, могут быть привлечены к административной ответственности государственными инспекторами в области охраны ОС.

Уголовная ответственность. Уголовная ответственность наступает в аналогичных случаях (при схожих обстоятельствах), что и административная, различие состоит в степени тяжести последствий — при менее серьезных последствиях предусматривается ответственность за административное правона-

рушение (проступок), а при больших — ответственность за уголовное преступление. Кроме того, уголовная ответственность наступает только при наличии общественно опасных последствий, оговоренных действующим Уголовным кодексом, тогда как одним из предварительных условий привлечения к административной ответственности является отсутствие в совершенном правонарушении признаков преступления.

Уголовный кодекс **(УК) РФ** от **13.06.96 № 63-ФЗ** (в редакции от **7.05.98** до **29.12.01)** предусматривает **16** составов экологических преступлений, сформулированных в гл. **26.**

Отдельно оговорен такой состав экологических преступлений, как **экоцид** — «массовое уничтожение растительности или животного мира, отравление атмосферы или водных ресурсов, а также совершение иных действий, способных вызвать экологическую катастрофу» (ст. 358 **УК РФ** от **13.06.96 № 63-ФЗ).**

Наказание за экологические преступления по Российскому законодательству установлено в виде:

- наложения штрафа;
- исправительных работ на срок до трех лет;
- ограничения свободы на срок до трех лет;
- лишения свободы на срок до пяти лет.

Однако за нарушение правил обращения с экологически опасными веществами и отходами, повлекшее по неосторожности смерть человека или массовое заболевание людей, а также за уничтожение или повреждение лесов путем поджога или в результате загрязнения вредными веществами, отходами, выбросами и сбросами предусмотрены более строгие наказания в виде лишения свободы на срок от 3 до 8 лет. Кроме того, за совершение экоцида предусмотрено наказание в виде лишения свободы на 12—**20** лет.

Дисциплинарная ответственность. Должностные лица и работники организаций, виновные в совершении экологических правонарушений, несут дисциплинарную[1] ответственность в случаях, если в результате ненадлежащего выполнения ими своих должностных или трудовых обязанностей организация понесла административную ответственность за нарушение экологического законодательства, приведшее к негативному воздействию на ОС.

[1] Дисциплинарная ответственность предполагает такие взыскания, как замечание, выговор и увольнение, предусмотренные Трудовым кодексом РФ от 30.12.01 № 197-ФЗ.

Имущественная ответственность. В соответствии с Гражданским кодексом **РФ** (ч. **1** от **30.11.94** № **51-ФЗ,** ч. 2 от **26.01.96)** имущественная ответственность заключается в обязанности возмещения вреда, причиненного имуществу граждан либо физических лиц. Федеральный закон от **10.01.02** № 7-ФЗ «Об охране ОС» обязывает возместить в полном объеме вред, причиненный негативным воздействием окружающей среды, загрязненной вследствие хозяйственной или иной деятельности.

Особенностью имущественной ответственности является то, что она направлена на компенсацию причиненных потерпевшему убытков за счет правонарушителя.

В соответствии с трудовым законодательством РФ должностные лица и иные работники, в результате действия или бездействия которых организация (работодатель) понесла расходы, связанные с возмещением вреда, причиненного экологическим правонарушением, привлекаются к материальной ответственности.

В соответствии с Трудовым кодексом РФ от 30.12.01 № 197-ФЗ работник обязан возместить работодателю причиненный ему прямой вред, а неполученные доходы (упущенная выгода) взысканию с работника не подлежат. Также материальная ответственность работника исключается при возникновении ущерба вследствие непреодолимой силы, нормального хозяйственного риска, крайней необходимости или необходимой обороны.

10.1.6. Правовой режим экологически неблагополучных территорий

Экологически неблагополучные ситуации существуют лишь на некоторых достаточно ограниченных территориях. Так, в нашей стране на весьма значительной ее части ОС является вполне благоприятной. Прежде всего это малоосвоенные северные районы, составляющие по различным оценкам 40—46% территории России.

По степени возрастания экологического неблагополучия обстановку на некоторой территории классифицируют следующим образом:

- относительно удовлетворительная;
- напряженная;
- критическая;

- кризисная (зона чрезвычайной экологической ситуации);
- катастрофическая (зона экологического бедствия).

Федеральный закон от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» (ст. 57) выделяет два вида зон, отличающихся от иных территорий экологически неблагополучной ситуацией:

- экологического бедствия;
- чрезвычайных ситуаций.

Признаки территорий, по которым можно отнести экологически неблагополучную территорию к тому или иному типу зон, приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Классификационные признаки экологического неблагополучия территорий

Объект, подвергшийся изменению	Признаки неблагополучия территории	
	чрезвычайной ситуации (кризисное состояние)	**экологического бедствия (катастрофическое состояние)**
Окружающая среда	Устойчивые негативные изменения	Глубокие необратимые изменения
Здоровье населения	Угроза здоровью	Существенное ухудшение здоровья
Естественные экосистемы	Устойчивые негативные изменения (снижение видового разнообразия, исчезновение отдельных видов организмов, нарушение генофонда)	Разрушение естественных экосистем (нарушение природного равновесия, деградация флоры и фауны, потеря генофонда)

Таким образом, при схожести современных определений этих территорий (зон) основное различие между ними заключается в следующем: в зоне чрезвычайной ситуации имеет место *надвигающаяся угроза* бедствия, тогда как в зоне экологического бедствия — уже *свершившееся* бедствие. Установить такое различие на практике достаточно непросто.

В обоих случаях имеется в виду, что воздействие антропогенных факторов происходит длительно и хронически (не менее года). Оценка экологического состояния проводится в соответствии с «фоном», в качестве которого принимается отно-

сительно удовлетворительное, благополучное экологическое состояние (условная норма) в регионе.

С позиции права важно, что экологически неблагополучная территория — это участок территории, на котором состояние ОС соответствует законодательно установленным критериям, свидетельствующим о необходимости принятия мер по восстановлению благоприятного состояния ОС. Порядок объявления и установления режима зон экологического бедствия установлен действующим законодательством о зонах экологического бедствия, а защита ОС в зонах чрезвычайных ситуаций — Федеральным законом от 21.12.94 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

10.1.7. Особенности правового режима природных ресурсов

Особая роль в удовлетворении потребностей человека принадлежит таким природным ресурсам, как земли, воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир. Этим предопределен специфический подход к правовой защите таких ресурсов, а также к особенностям регулирования их использования.

Правовая охрана атмосферного воздуха. Как никакой другой природный ресурс, атмосферный воздух образует единую среду жизни на планете, «не признавая» политических границ, и законодательное регулирование его использования возможно лишь в очень малой степени.

Атмосферный воздух из-за своих физических свойств не может быть индивидуализирован для того, чтобы стать объектом права собственности. Однако любое государство пользуется исключительным правом на использование атмосферы в пределах своего воздушного пространства. В соответствии со ст. 1 Воздушного кодекса РФ от 19.03.97 № 60-ФЗ наша страна «обладает полным и исключительным суверенитетом в отношении воздушного пространства РФ», т. е. пространства над территорией России, включая «воздушное пространство над внутренними водами и территориальным морем». Верхняя физическая граница действия законодательства определяется возможным высотным пределом, который достигают самолеты или иные летающие устройства.

Озоновый слой — самостоятельный объект охраны ОС, что отмечено в 1977 г. в «Мировом плане действий по озоновому слою» UNDP. Охрана озонового слоя атмосферы обеспечивается посредством регулирования производства и использования веществ, разрушающих озоновый слой (ст. 54 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС»).

Государственное регулирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу производится путем установления следующих нормативов выбросов:

- *технический (технологический) норматив* — «норматив допустимых выбросов веществ или микроорганизмов, который устанавливается для стационарных, передвижных и иных источников, технологических процессов, оборудования и отражает допустимую массу выброса веществ или микроорганизмов в ОС в расчете на единицу выпускаемой продукции» (мощности, пробега транспортных средств и т. п.);
- *норматив допустимого выброса* — норматив выброса вещества (в том числе радиоактивного) или микроорганизмов для стационарного, передвижного и иного источника, работающего в установленном режиме, с учетом технических (технологических) нормативов выбросов и фонового загрязнения атмосферного воздуха, при соблюдении которого обеспечиваются нормативы качества атмосферного воздуха и качества ОС[1] в целом.

Государственное регулирование вредных физических воздействий на атмосферный воздух осуществляется путем установления *нормативов допустимых физических воздействий.*

Выбросы веществ в атмосферный воздух и физические воздействия на него допускаются на основании разрешений, выдаваемых в порядке, определенном законодательством.

Нормативы выбросов веществ и допустимых физических воздействий, а также методы их определения пересматриваются и совершенствуются по мере развития науки и техники с учетом международных стандартов.

[1] В соответствии с Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» нормативы качества ОС — это такие ее физические, химические, биологические и иные показатели, при соблюдении которых обеспечивается благоприятная ОС, т. е. среда, качество которой создает условия устойчивого функционирования естественных экосистем, природных и природно-антропогенных объектов.

Особые требования предъявляют законодательства об охране атмосферного воздуха к деятельности, которая может повлиять на погоду и климат. Так, Федеральным законом от 04.05.99 № 96-ФЗ «Об охране АВ» (ст. 16, п. 8) запрещена всякая деятельность, которая «может привести к неблагоприятным изменениям климата... наступлению необратимых последствий для людей и ОС». Кроме того, в соответствии со ст. 15, п. 7

запрещается выброс в атмосферный воздух веществ, степень опасности которых для жизни и здоровья человека и для окружающей среды не установлена.

Правовая охрана вод. Понятие «воды», используемое в юридической теории и практике,

значительно отличается от общенаучных представлений о воде как веществе, молекула которого состоит из атомов водорода и кислорода. В соответствии с Водным кодексом от 16.11.95 № 167-ФЗ водами называется (ст. 1) «вся вода, находящаяся в водных объектах», к которым относят «сосредоточения вод на поверхности суши в формах ее рельефа либо в недрах, имеющие границы, объем и черты водного режима. Согласно ст. 8—13 к водным объектам относятся поверхностные (водоемы, водотоки, ледники и снежники) и подземные водные объекты, внутренние морские воды, а также территориальное море РФ.

Вода, изъятая из водных объектов (в жилых домах, используемая в технологических процессах и т. п.), не входит в сферу юрисдикции водного законодательства. Правовые отношения, связанные с использованием такой воды, — сфера действия гражданского, санитарного и иного законодательства РФ.

Важное средство регулирования правовых отношений в сфере охраны водных объектов — это **бассейновые соглашения,** заключаемые между органами исполнительной власти субъектов РФ, расположенными в пределах бассейна конкретного водного объекта.

Водный кодекс РФ от 16.11.95 № 167-ФЗ разграничивает виды водопользования. Критерием является применение сооружений, технических средств и устройств при использовании водных объектов: если они применяются, то это **специальное водопользование,** а если нет — **общее водопользование** (ст. 86). Случаи использования водных объектов для обеспечения нужд обороны, транспорта, энергетических систем и иных

общегосударственных (или муниципальных) нужд выделены в **особое пользование** (ст. 87).

Ограничение использования водных объектов допускается, если это предусмотрено законодательством РФ и «в той мере, в какой это необходимо для защиты основ конституционного строя, обеспечения обороны страны и безопасности государства, охраны здоровья, окружающей среды, историко-культурного наследия, прав и законных интересов других лиц» (ст. 63).

Использование водных объектов должно осуществляться с минимально возможными последствиями для них. Особо опасны аварийные загрязнения вод, возникающие при залповом сбросе вредных веществ в водоемы.

Правовая охрана земель. Термин «земля», по отечественному законодательству, — поверхность земного шара, находящуюся в пределах государственных границ России, и в этом смысле она измеряется в единицах площади. Земельный фонд нашей страны равен 1,7 млрд га. Однако цель правовой охраны земли не в сохранении ее площади, а в сохранении, восстановлении, улучшении качественного состояния земель. В соответствии с Земельным кодексом РФ от 25.10.01 № 136-ФЗ(ст. 7) земли России, за исключением земель запаса, подразделяются по целевому назначению, как показано на рис. 10.2.

Юридически значимо то, что земля не может быть отделена от поверхности земного шара.

В соответствии со ст. 62 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» редкие и находящиеся под угрозой исчезновения почвы подлежат охране государством, с целью их учета и охраны учреждаются Красные книги почв.



Рис. 10.2. Состав земельного фонда России (по *В. В. Петрову*)

Правовая охрана недр. «Часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя, а при его отсутствии -— ниже земной поверхности, дна водоемов либо водотоков, простирающаяся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения», в соответствии с законом РФ от 21.02.92 № 2395-1 «О недрах» (в редакции от 03.03.95 № 23-ФЗ), называется **недрами.**

Недра в границах территории России, включая подземное пространство с полезными ископаемыми, являются государственной собственностью.

10.2. Пути сохранения биоразнообразия и генофонда биосферы

10.2.1. Генофонд живой природы

Органический мир Земли образован совокупностью видов животных, растений, грибов, микроорганизмов. Каждый компонент органического мира взаимосвязан с другим, справедлив закон «все связано со всем». Изменение и тем более уничтожение одного из компонентов системы влечет за собой изменение, а в предельном случае гибель всей системы. Все это делает необходимым осуществление специальных природоохранных мероприятий, направленных на защиту всех живых организмов, сохранению биоразнообразия на планете.

Главная задача охраны природы — охрана генофонда — совокупности генов, которые имеются у всех особей популяций. Изменение генофонда происходит за счет мутаций, вызванных естественными факторами и факторами антропогенного происхождения. Уничтожение, истребление отдельных видов популяции обедняет генофонд планеты, который в настоящее время насчитывает около **1,3** млн видов только животных (рис. 10.3). Из **300** тыс. видов высших растений мировой флоры лишь около 2,5 тыс. постоянно применяют в сельском хозяйстве, а 20 тыс. — по мере необходимости.

Разнообразие природных форм организмов необходимо для проведения селекции. **Селекция** — наука о методах создания сортов, гибридов растений и пород животных, штаммов микроорганизмов с нужными человеку признаками. Под руководством академика Н. И. Вавилова были выполнены работы по изучению многообразия и географического распространения культурных растений. Им было выделено семь центров

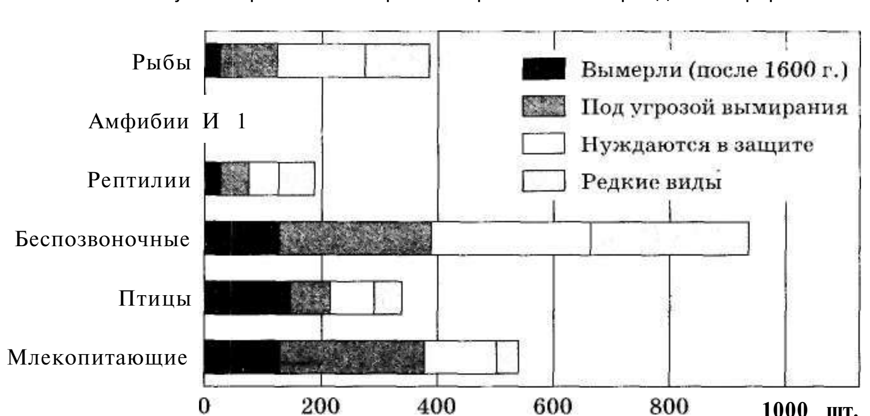


Рис. 10.3. Количество уничтоженных и находящихся под угрозой исчезновения видов на **1992** г. по данным UNEP

происхождения культурных растений, в которых сосредоточено наибольшее разнообразие наследственных форм этих видов. Их охрана — гарантия практических успехов селекции.

10.2.2. Особо охраняемые территории и природные объекты

Идея создания охраняемых территорий — заповедников — возникла давно. Еще с древних времен существовали «священные места», где запрещалась охота, рыбная ловля, вырубка леса, где звери и птицы могли выводить свое потомство. Позднее в странах Европы, Азии, Африки правители государств и церквей стали создавать заказники, где охранялись отдельные виды животных (например, олени во Франции и Англии, бобры в Древней Руси). В конце XIX в. быстрое оскудение растительного и животного мира стало тревожить людей. Бобры, соболи, лоси и многие другие пушные и промысловые звери стали редкостью. Необходимость охраны природы, создания заповедных территорий стала очевидна (рис. 10.4).

Современный природно-заповедный фонд нашей страны образуют: государственные природоохранные заповедники (в том числе биосферные), государственные природные заказ-

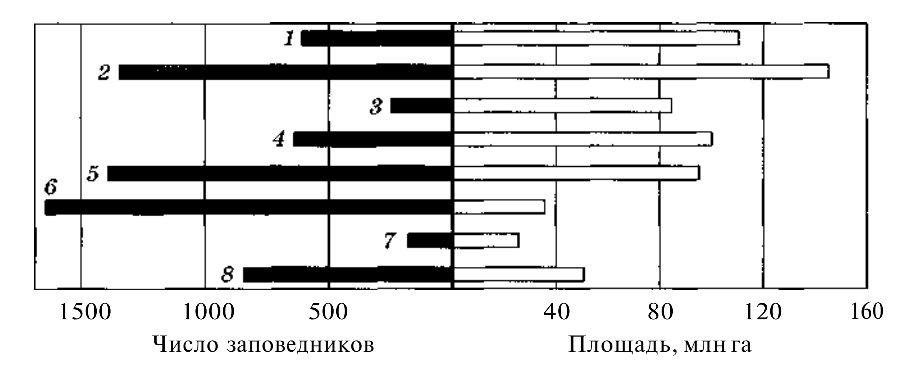


Рис. 10.4. Количество и площадь заповедников по регионам на 1992 г. по данным ЮНЕП: *1* — Африка; *2* — Северная Америка; *3* — Центральная Америка; *4* — Южная Америка; 5 — Азия; *6* — Европа; *7* — СССР; *8* — Австралия и Океания (по данным UNEP с уточнениями)

ники; национальные и природные парки; памятники природы; дендрологические парки и ботанические сады; иные особо охраняемые территории и природные объекты, имеющие ценное значение.

Режим особо охраняемых природных территорий в нашей стране наряду с Федеральным законом от **10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС»** устанавливается Федеральными законами от 14.03.95 № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» и от 23.02.95 № 26-ФЗ «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах». Правительством РФ утверждены специальные положения по правовому режиму отдельных особо охраняемых природных территорий — о государственных природных заповедниках, национальных парках и др. Особо охраняемые природные территории могут иметь международное, федеральное, региональное или местное значение.

Государственные природные заповедники. Они решают следующие задачи:

- сохранение биологического разнообразия и поддержание в естественном состоянии охраняемых природных объектов;
- организация и проведение научных исследований;
- экологический мониторинг;
- экологическое просвещение;
- участие в государственной экологической экспертизе проектов и в подготовке научных кадров в области охраны природной среды.

На территории государственных природных заповедников из хозяйственного пользования полностью изъяты: земля, воды, недра, животный и растительный мир; они являются некоммерческими организациями и финансируются за счет средств федерального бюджета.

Государственный природный *биосферный заповедник* — ландшафтная единица, выделенная в соответствии с программой ЮНЕСКО «Человек и биосфера» с целью ее сохранения и исследования. Заповедники, имеющие статус биосферных, входят в международную систему биосферных резерватов, осуществляющих глобальный экологический мониторинг. Биосферные заповедники создаются на совершенно не затронутых хозяйственной деятельностью территориях или на мало измененных деятельностью человека. Важно, что для создания биосферных заповедников выбираются не уникальные, а типичные ландшафты. В исключительных случаях биосферный заповедник может быть организован на территории древнего освоения человеком. Территория биосферного заповедника должна практически не испытывать воздействий от окружающих ее территорий, освоенных человеком.

Первый заповедник на территории России появился в 1882 г. на Камчатке. После **1920** г. в СССР была создана разветвленная сеть заповедников. **К 2000** г. в России существовало 99 государственных природных заповедников, их площадь занимала примерно 1,6% территории страны. **21** природный заповедник РФ имеет статус биосферного резервата (им выданы соответствующие сертификаты ЮНЕСКО).

Государственные природные заказники. Это участки, в пределах которых запрещены отдельные виды и форма хозяйственной деятельности с целью охраны одного или нескольких видов живых существ, биогеоценозов, экологических компонентов или общего характера охраняемой местности.

Запрет на хозяйствование может устанавливаться на определенный срок или быть бессрочным. Государственные природные заказники подразделяют:

- на комплексные или ландшафтные, предназначенные для сохранения и восстановления природных ландшафтов;
- биологические, предназначенные для сохранения и восстановления редких и исчезающих видов растений и животных;
- палеонтологические, предназначенные для сохранения мест находок останков ископаемых животных и растений, имеющих особую научную ценность;

- гидрологические — болотные, озерные, речные, морские;
- геологические, предназначенные для сохранения ценных объектов и комплексов неживой природы.

Государственные природные заказники могут быть федерального или регионального подчинения. Земельные участки природных заказников могут находиться в пользовании, владении у юридических и физических лиц.

Национальные парки. Это значительные по площади территории, включающие особо охраняемые природные (не подвергающиеся антропогенному воздействию) ландшафты, которые, помимо главной задачи сохранения природных комплексов, предназначены преимущественно для рекреационных целей. Территория национального парка обычно зонируется, т. е. делится на зоны с различным режимом эксплуатации — заповедную, хозяйственную и рекреационную (рис. 10.5). На территориях национальных парков могут проживать малочисленные этнические общины. Для них может быть установлен режим использования природных ресурсов, обеспечивающий сохранение их традиционного образа жизни. Общее количество национальных парков в мире превышает **2000.** Для России национальные парки — относительно молодая форма природоохранных территорий. Первый национальный парк был организован только в 1983 г. (национальный парк «Сочинский»), а к 2000 г. их насчитывалось 34.

Природные парки. Они являются рекреационными учреждениями, их территория также может использоваться в просветительских и рекреационных целях. Территории или акватории природных парков включают комплексы и объекты, имеющие значительную экологическую и эстетическую ценность. В природных парках устанавливается режим особой охраны и использования, запрещается деятельность, которая могла бы изменить исторически сложившийся ландшафт, изменить эстетическое или рекреационное качество парка. В природном парке могут быть выделены зоны с различными режимами — природоохранные, рекреационные, охраны историко-культурных комплексов, агрохозяйственные и иные.

Решение о создании природного парка на территории РФ принимают субъекты Федерации. С природными парками согласовываются вопросы социально-экономической деятельности юридических лиц, расположенных на территориях пар-

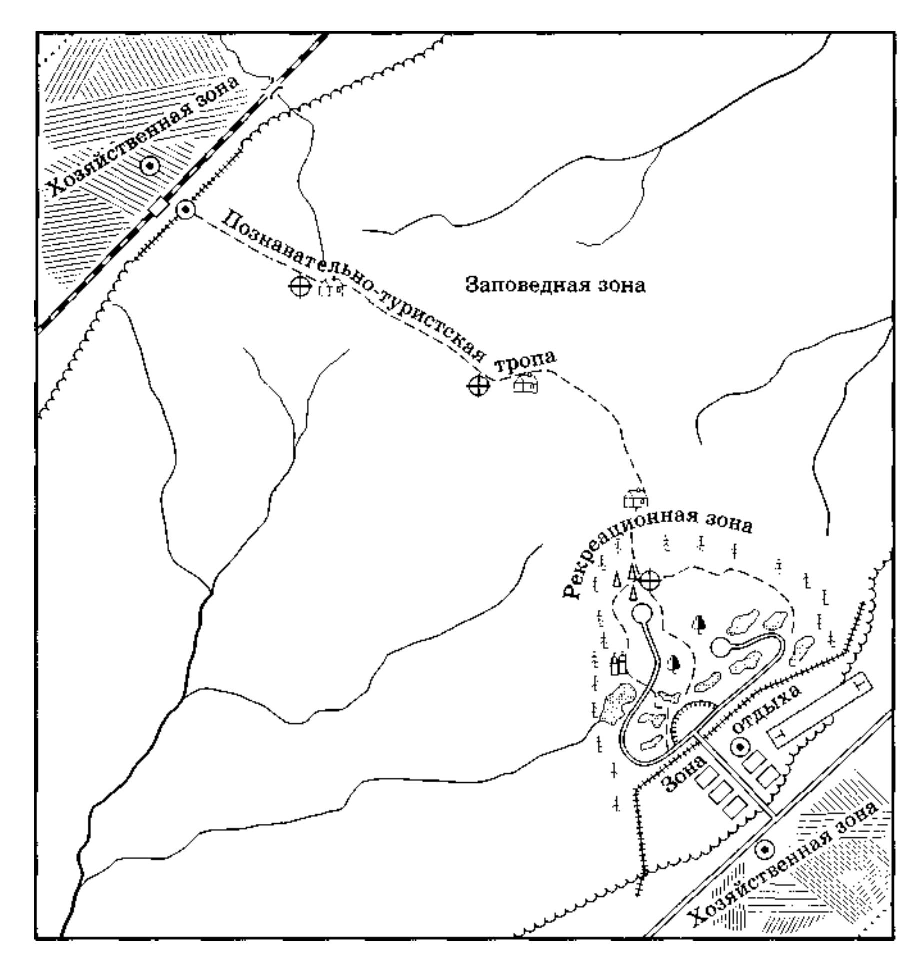


Рис. 10.5. Схема организации территории национального парка (в умеренной и в теплой географической зоне): © — места особого интереса; © — населенные пункты

ков, проекты развития близ расположенных населенных пунктов.

Памятники природы. Природный памятник — естественная или издревле измененная человеком природная территория, представляющая большую научную, культурную или социальную ценность, выделенная в качестве особо охраняемого участка, либо отдельный природный уникальный объект (комплекс).

Природные памятники могут иметь федеральное или региональное значение. Памятниками природы могут быть объявлены:

- участки живописных местностей;
- эталонные участки нетронутой природы;
- участки с преобладанием культурного ландшафта (старинные парки, аллеи и др.);
- места обитания и произрастания ценных, малочисленных, редких и исчезающих видов животных и растений;
- уникальные формы рельефа и связанные с ним природные ландшафты (горы, каньоны, группы пещер и др.);
- геологические обнажения, имеющие особую научную ценность (выходы редких минералов, горных пород, полезных ископаемых и др.);
- термальные и минеральные водные источники, местонахождение лечебных грязей;
- отдельные объекты живой и неживой природы, места гнездования птиц, деревья-долгожители, имеющие историко-мемориальное значение, вулканы, холмы и др.

Дендрологические парки и ботанические сады. Они представляют собой коллекции растений дикой флоры, высаженные на значительных территориях для сохранения разнообразия, обогащения растительного мира, Дендрологические парки и ботанические сады создаются для научных и просветительских целей, используются в качестве рекреационных территорий. Территория дендрологических парков и ботанических садов может быть разделена на зоны, имеющие различные режимы пользования.

Иные особо охраняемые территории. К их числу относятся, например, лечебно-оздоровительные учреждения и курорты, являющиеся национальным достоянием народов России. Признание территории лечебно-оздоровительным местом или курортом может осуществляться Правительством РФ, органом исполнительной власти субъекта Федерации, муниципальным органом на основании проведенных гидрологических, курортологических и других исследований.

10.2.3. Красные книги

Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения растения и животные принято относить к особо охраняемым объектам.

Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) в 1949 г. начал сбор информации о редких, на-

ходящихся под угрозой исчезновения видах растений и животных, а в 1966 г. издал «Красную книгу фактов» *(«Red Data Book»)*. **Красная книга** — официальный документ, содержащий регулярно обновляемые данные о состоянии и распространении редких и находящихся под угрозой исчезновения видов (подвидов и популяций) редких животных, дикорастущих растений и грибов.

Для дифференцированного подхода к определению очередности применения охранных мер разработана пятиступенчатая шкала категорий статуса охраняемого вида, в соответствии с которой к первой категории относят виды, спасение которых невозможно без осуществления специальных мер, а к пятой категории — восстановленные виды, состояние которых благодаря принятым мерам не вызывает опасений, но эти виды еще не подлежат промысловому использованию.

Существуют международный, национальные и региональные (локальные) варианты Красной книги, которые ведутся раздельно для растений и для животных. В СССР Красная книга была учреждена в 1974 г.

В наши дни Красная книга Российской Федерации и Красные книги субъектов РФ ведутся в соответствии с Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС», Федеральным законом РФ от 24.04.95 № 52-ФЗ «О животном мире» и Постановлением Правительства РФ от 19.02.96 № 158 «О Красной книге Российской Федерации».

В целях сохранения редких и находящихся под угрозой исчезновения растений, животных и других организмов их генетический фонд подлежит сохранению в низкотемпературных генетических банках, а также в искусственно созданной среде обитания.

Наиболее эффективная мера охраны редких видов — сохранение их местообитаний. Это достигается, в частности, организацией сети особо охраняемых природных территорий.

Сегодня в Красную книгу России занесено 562 вида растений и 247 видов животных. В табл. 10.2 приведены примеры успешного восстановления численности некоторых видов, в свое время оказавшихся под угрозой исчезновения.

В целях учета и охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения почв учреждены Красная книга почв Российской Федерации и Красные книги почв субъектов Российской Федерации.

Таблица 10.2

Примеры успешного восстановления численности видов (по А. В. Яблокову, А. А. Остроумову)

Вид	Численность			Главные факторы восстановления
	начальная	минимальная	современная	
Бобр европейский	Сотни тысяч	Около 700 (20-е годы)	Около 200 тыс.	Запрет промысла, организация заповедников, расселение
Зубр	Десятки тысяч	48(1927)	Более 2 тыс.	Организация заповедников, заказников, запрет охоты, центры размножения, расселения
Степной бизон	Несколько миллионов	20(1893)	Более 10 тыс.	Охрана в заповедниках, реакклиматизация
Серый кит	Около 20 тыс.	Несколько сотен (30-е годы)	Около 16 тыс.	Регламентация промысла, охрана мест размножения
Сайгак	Несколько миллионов	Около 1500 (20-е годы)	Около 1,5 млн	Запрет промысла, организация промхозов
Дальневосточный морж	Около 200 тыс.	Не более 30 тыс. (50-е годы)	Около 200 тыс.	Координированная национальная регламентация промысла

10.3. Экономические аспекты природопользования

В докладе Международной комиссии по ОС и развитию «Наше общее будущее» (1987) отмечено:

«Экономика не ограничивается созданием материальных ценностей, а экология не относится только к охране природы; оба понятия в равной мере касаются улучшения судьбы человечества».

В течение всей истории взаимодействия Общества и Природы Человечество развивало **экономику**[1] преимущественно за счет хищнического использования природных ресурсов, игнорируя законы биосферы. Проблема противостояния экономики и экологии — столкновение экономических интересов Общества с экологическими требованиями Природы — в настоящее время занимает одно из важнейших мест в системе мировых приоритетов, и именно осознание необходимости адаптации экономического развития к природным закономерностям потребовало скорейшего перехода к новому экологически оптимизированному типу производства и потребления.

С экономической точки зрения Природа — это замкнутая, самодостаточная, саморазвивающаяся система, которая без вмешательства Человека поддерживается в равновесном состоянии обозримо длительное время (за исключением теоретически возможных природных катастроф космического масштаба).

Экономическая система в целом — это система производства, распределения и потребления товаров и услуг. Любое производство и потребление связано с использованием природных ресурсов и образованием отходов, причем и то и другое сопровождается воздействием на ОС (см. гл. 9).

Цель развития любой экономической системы — максимально полное удовлетворение потребностей общества. Необходимость расходования ресурсов для этой цели — причина всех экологических, экономических, а в конечном счете и социальных проблем. Их решение базируется на двух фундаментальных экономических аксиомах:

- *потребности общества (индивидов и институтов*[2] *безграничны и полностью неутолимы.;*
- *ресурсы общества, необходимые для производства товаров и оказания услуг, достаточно ограничены и редки.*

[1] Экономика (от греч. *oikonomia* — управление хозяйством) — 1) совокупность производственных отношений, соответствующих данной ступени развития производительных сил общества; 2) хозяйство района, страны, группы стран или всего мира; 3) научная дисциплина.

[2] Институт (от лат. *institutum* — установление, учреждение) — совокупность норм права в какой-либо области общественных отношений; та или иная форма общественного устройства.

10.3.1. Экономическая оценка природных ресурсов

Ресурсы в экономической теории — это факторы, используемые для производства экономических благ. Природные ресурсы — составная часть экономических ресурсов (факторов производства) и один из факторов экономического роста, наряду с трудом и капиталом. В экономике широко используется хозяйственная классфикация природных ресурсов:

- *по техническим возможностям эксплуатации* их подразделяют на реальные; потенциальные (потенциально-перспективные); рекреационные;
- в зависимости от *экономической целесообразности замены* ресурсы бывают заменимые (например, топливно-энергетические ресурсы); незаменимые (воздух, вода);
- в зависимости от *отнесения ресурсов к различным секторам материального производства или непроизводственной сферы* выделяют ресурсы промышленного производства; сельскохозяйственного производства; непроизводственной сферы;
- *по критерию собственности* природные ресурсы делятся на частные, государственные и общественные, а также на собственные и арендуемые.

Роль природных ресурсов в общественном развитии всегда была значима, но полностью последствия их использования не осознавались Человечеством вплоть до последнего времени. В большинстве стран независимо от типа экономической системы сложился природоемкий тип производства, характеризующийся как «природоразрушающий» тип развития. Он основан на использовании искусственных средств производства, созданных без учета экологических ограничений, и обладает следующими отличительными чертами:

- использованием невозобновимых видов природных ресурсов (прежде всего полезных ископаемых);
- сверхэксплуатацией возобновимых ресурсов (почвы, леса и др.) со скоростью, превосходящей возможности их воспроизводства и восстановления.

Длительное время в экономической теории внимание уделялось лишь двум факторам экономического роста — труду и капиталу. Это наглядно иллюстрирует широко распространенная в экономической теории «производственная функция»,

т. е. зависимость количества производимой продукции Y от капитала K и трудовых ресурсов L:

$$Y = f(K, L). \qquad \textbf{(10.1)}$$

При таком подходе природные ресурсы считаются неистощимыми, а уровень их потребления, как и возможности восстановления, фактически не учитываются. Никак не учитываются и последствия экономического развития, выражающиеся в виде загрязнения, деградации природной среды и оскудения ресурсов. Длительное время не изучалось и обратное влияние, а именно влияние экологической деградации, ухудшения состояния трудовых ресурсов и качества жизни населения на экономическое развитие. Целесообразность этой системы до определенного момента (почти до конца XX в.) не вызывала никаких сомнений, однако впоследствии она получила название «фронтальной» или «ковбойской» экономики.

В результате глубокой дестабилизации состояния природной среды из-за гигантского развития производительных сил, беспрецедентного роста населения и, как следствие, огромного роста нагрузки на экосистемы возникла потребность в установлении истинной экономической оценки Природы, ее ресурсов и представляемых Человеку благ. Понятие «оценка» в экономике связано с философской категорией «ценность». Ценность отражает значение объекта, обусловленное потребностью человека в нем и характерными свойствами самого объекта. В зависимости от вида человеческих потребностей ценность может быть материальной, социально-политической, эстетической и т. п.

В экономике используются:

- *экономическая оценка* — определение полезности природного ресурса как вклада в удовлетворение общественных потребностей в производстве и (или) потреблении некоторого продукта (услуги), выражаемая в экономических показателях. В узкоэкономическом смысле — это определение хозяйственного эффекта от использования ресурсов в денежных единицах. Такая оценка может быть отраслевой или региональной;
- *внеэкономическая оценка* — определение экологической, социальной, эстетической, культурной или иной ценности ресурса.

При экономической оценке применяют затратный и рентный подходы.

Затратный подход. Такой подход заключается в определении ценности ресурсных источников по суммарным затратам на их использование с помощью следующих методов оценки:

- *прямых затрат:* суммируют затраты на освоение и использование (эксплуатацию) ресурсного источника;
- *издержек:* помимо непосредственных финансовых затрат на хозяйственное освоение ресурсного источника учитывается ущерб, вызванный его эксплуатацией (косвенные затраты);
- *транспортных затрат:* на основе оценки стоимости или времени, затрачиваемой на доставку ресурса из места его расположения, определяется экономическая ценность ресурсного источника;
- *стоимости воссоздания:* оценивают затраты на воспроизводство потерянного или деградировавшего вида ресурсов;
- *«желания платить»* — путем опросов или анкетирования населения выясняют желание людей платить за существование определенного вида ресурсов.

Рентный подход. Данный подход наиболее широко применяется в наши дни при оценке земельных ресурсов. Рента (от лат. *reddita* — отдаленная назад) — доход, получаемый владельцем от использования земли, имущества, капитала, не требующий от владельца осуществления предпринимательской деятельности.

При оценке природных ресурсов используется концепция дифференцированной ренты, заключающаяся в выявлении дополнительного экономического эффекта от использования ресурсного источника лучшего качества по сравнению с другими. Эта концепция основывается на том, что различные источники некоего определенного ресурса в зависимости от своих количественных и качественных характеристик приносят разные экономические результаты при равенстве прочих условий (местоположение, наличие транспорта, оборудования и технологий, квалификация кадров и др.).

При определении дифференциальной ренты необходимо учитывать размер *предельно допустимых максимальных* расходов, которые общество готово нести ради получения единицы данного ресурса. Расходовать больше этого уже не эффективно. Разность между предельно допустимыми расходами и индивидуально фактическими затратами показывает, сколько выигрывает экономика на единицу данного вида ресурсов. В соответствии с этим подходом худшие ресурсные источники получают нулевую оценку, хотя их использование может быть в определенной степени экономически эффективно.

10.3.2. Экономическая оценка экологических издержек и ущерба от загрязнения

Помимо экономической оценки ресурсов должны быть оценены и возникающие экологические издержки или экологический вред, структура и состав которых показаны на рис. 10.6.

Под экономическим ущербом от загрязнения ОС понимается денежная оценка фактических и возможных убытков (потерь), обусловленных воздействием загрязнения, и именно поэтому определить его наиболее сложно. Оценка экономического ущерба может быть выполнена как прямым счетом, так и укрупненно, с использованием обобщенных косвенных оценок (эмпирически). Механизм возникновения ущерба от загрязнения описывается следующей последовательностью:

ХОЗЯЙСТВЕННАЯ (АНТРОПОГЕННАЯ) ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ЖИЗНЬ ЧЕЛОВЕКА (ПОТРЕБЛЕНИЕ) СОЗДАЮТ ОТХОДЫ

↓

ОТХОДЫ ПОСТУПАЮТ В ОС (ЗАГРЯЗНЯЮТ ЕЕ)

КАЧЕСТВО ОС ИЗМЕНЯЕТСЯ (УХУДШАЕТСЯ)

↓

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ОС МЕНЯЕТ (УХУДШАЕТ) УСЛОВИЯ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛЮДЕЙ

↓

УХУДШАЕТСЯ КАЧЕСТВО ЖИЗНИ И МАТЕРИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА

↓

УХУДШАЮЩЕЕСЯ КАЧЕСТВО ЖИЗНИ СНИЖАЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА

Наиболее достоверные значения экономического ущерба позволяет получить *метод прямого счета*, но на практике он применяется редко, поскольку требует детальной информации об изменениях в окружающей среде, а также об ее исходном состоянии, по отношению к которому констатируются изменения (ухудшение либо даже деградация).

Для упрощения метода прямого счета был разработан *метод расчета по «монозагрязнителю»*, однако

он снижает точность, поэтому на практике такой метод мало применяется.

В настоящее время считается наиболее целесообразным рассчитывать экономический ущерб раздельно по основным природным средам (воздуху, водным объектам, земельным ресурсам и недрам), что позволяет применить эмпирический метод. Годовой экономический ущерб Y (руб./г), наносимый ОС отдельным источником или предприятием в целом, рассчитывается по формуле:

$$Y = \alpha Y_{а} + \beta Y_{в} + \gamma Y_{з} + \eta Y_{н}, \qquad (10.2)$$

где Y_a — экономический ущерб от всех выбросов в атмосферный воздух за год, руб./г.; Y — удельный экономический



Рис. 10.6. Структура экологических издержек (по С. *В. Макару*) с дополнениями

ущерб, причиняемый годовым сбросом в водоемы всех загрязняющих веществ, руб./г.; $У_з$ и Y_s — удельный экономический ущерб от годового нарушения и загрязнения соответственно земельных ресурсов и недр, руб./г.; а, |3, у, г\ — поправочные коэффициенты на степень достоверности эмпирического метода; определяются как соотношения между показателями ущерба, полученными эмпирически и прямым счетом.

Экономический ущерб, причиняемый воздействием загрязнений атмосфере, водоемам, земельным ресурсам и недрам, рассчитывают по специальным методикам.

В основу действующей в наши дни в Российской Федерации системы платежей за загрязнение ОС положен расчет экономического ущерба по методу обобщенных косвенных оценок. По этому методу общий (суммарный) экономический ущерб, наносимый антропогенным загрязнением, определяется как сумма ущербов от загрязнения атмосферы (Y_a), воды $(У_в)$, почвы (Уц). Экономический ущерб $(У_э)$ от загрязнения ОС каким-либо ингредиентом, наносимого отдельным объектом (тыс. руб./г.), можно рассчитать по формуле:

$$У_э = PMK_э \cdot 10^{-3}, \qquad (10.3)$$

где P — базовый общероссийский норматив платы за загрязнение ОС, руб./т; M — масса выбрасываемого ингредиента, т/г.; $K_э$ — коэффициент экологической ситуации и экологической значимости региона.

10.3.3. Эколого-экономическая оценка инвестиций

Простой оценки в денежных единицах природных ресурсов и экологических издержек, вызванных деятельностью человека, недостаточно. Идет постоянный поиск ответов на вопросы:

- каково рациональное соотношение природоохранных затрат и допустимого экономического ущерба?
- насколько эффективны те или иные природоохранные затраты?

В этих вопросах сконцентрирована

главная задача экономики природопользования — поиск компромисса между экономическим развитием и экологическими ограничениями,

т. е. поиск некоего оптимального состояния, соответствующего экономически допустимому уровню загрязнения ОС.

Природоохранные затраты — это расходы на природоохранные мероприятия (снижение загрязнения атмосферного воздуха, водных ресурсов и земель; мелиорация и рекультивация земель; рациональное ведение лесного хозяйства и т. п.). Одной из главных особенностей оценки экономической эффективности мероприятий по охране ОС является то, что ее (эффективность) недопустимо определять на основании анализа деятельности только в базовом году, ибо восстановление природной среды — процесс длительный. Поэтому различают первичный эффект и конечный комплексный социально-экономический эффект от проведения средозащитных мероприятий.

Первичный эффект заключается в снижении воздействия на ОС и улучшении ее состояния. Он проявляется в снижении объемов и концентраций загрязнений в атмосфере, водной среде и почве.

Конечный эффект выражается в повышении уровня жизни населения и эффективности производства. Его социальный аспект проявляется в снижении заболеваемости населения, улучшении условий отдыха, сохранении эстетически ценных природных ресурсов.

В соответствии с теорией экономики вложение денежных средств в природоохранные мероприятия является инвестиционным проектом. Средства при любой экономической системе ограничены, а вариантов вложений всегда много. Поэтому основанием для выбора предпочтительного проекта выступает сопоставление в денежном выражении требующихся затрат и предполагаемых выгод, т. е. определение экономической эффективности.

Общим правилом для принятия экономически обоснованного решения является превышение потенциальной выгоды B над затратами С:

$$B - C > 0, \qquad (10.4)$$

и чем больше разница, тем выгоднее вложение средств.

Однако для рассмотрения многолетних инвестиционных проектов, когда необходимо сопоставить современные затраты с будущими выгодами, да еще с учетом инфляции, такой подход неприменим. Поэтому для оценки инвестиционных проектов принято использовать показатель чистого приведенного дохода *NPV*[1], позволяющий соизмерять меняющиеся во времени затраты с полученными выгодами. Проект принимается,

[1] *NPV — net present value,* т. е. чистая текущая стоимость, или чистый приведенный эффект.

если $NPV > 0$. Предполагаемая прибыль от проекта за ряд лет рассчитывается по формуле:

$$NPV = -\sum I_{нач} + \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}, \qquad (10.5)$$

где $/_{нач}$ — начальные инвестиции; г — коэффициент **дисконтирования**[1]; t — порядковый номер года; n — общее количество лет, требуемое для реализации инвестиционного проекта, по плану.

В выражении (10.5) в явном виде не учитывается ни оценка природных ресурсов, ни величина экологического ущерба; они в нем лишь подразумеваются. Если экологический показатель, являющийся суммой экологических выгод и затрат, выделить в виде отдельной составляющей, то выражение (10.5) примет вид:

$$NPV = -\sum I_{нач} + \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t \pm E_t}{(1+r)^t}, \qquad (10.6)$$

где E — экологическая составляющая (сумма экологических выгод и затрат) за t-й год.

В природоохранной практике встречаются ситуации, когда трудно определить будущий экономический эффект от реализации проекта, однако совершенно очевидно, что сам проект важен для общества. В таких случаях для оценки эффективности проекта целесообразен подход, основанный на отечественной методике[2] определения приведенных затрат, которая является аналогом подхода «затраты—эффективность», применяющегося в развитых странах. Концепция этого подхода заключается в поиске варианта, требующего минимальных затрат для достижения поставленной цели, т. е. инвестиционный проект принимается, если:

$$C + EK \to \min, \qquad (10.7)$$

[1] Дисконтирование (от англ. *to discount* — получать проценты вперед при даче денег взаймы) — приведение экономических показателей разных лет к сопоставимому во времени виду либо стоимости будущих затрат и доходов к нынешнему периоду; установление сегодняшнего эквивалента суммы, выплачиваемой в будущем.

[2] «Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды», одобренная Постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР и Президиума АН СССР от 21.10.1983 № 254/134.

где С — текущие годовые затраты; K — капитальные вложения; E — коэффициент эффективности капиталовложений.

Таким образом, к сожалению, в наши дни отсутствует достоверная общепризнанная методика экономической оценки достаточно крупных природоохранных мероприятий. Вышеприведенные методики могут использоваться лишь для оценки отдельных усовершенствований, например для выбора конкретного типа очистного оборудования или сооружений.

10.3.4. Экономические механизмы охраны окружающей среды

Существующая в наши дни в России система экономических механизмов охраны ОС может быть представлена схемой, приведенной на рис. **10.7.**

Кадастр природных ресурсов. Кадастр природных ресурсов представляет собой систематизированный свод сведений, количественно и качественно характеризующих определенный вид природных ресурсов, включая территориально-адресные



Рис. 10.7. Схема экономического механизма охраны ОС

показатели, экономическую оценку и оценку изменений под воздействием природных, антропогенных и экономических факторов. Они могут содержать рекомендации по рациональному использованию ресурсов и необходимым мерам охраны.

Кадастры ведутся как по отдельным видам природных ресурсов для всей страны, так и по территориям РФ. Основные цели отраслевых кадастров: государственная регистрация природопользователей; количественный учет; бонитировка[1] и экономическая оценка природных ресурсов.

Кадастровая форма представления информации общепризнана в мировой практике. В РФ ведутся следующие кадастры:

- Государственный *земельный кадастр* (ст. 70 Земельного кодекса РФ от 25.10.01 № 136-ФЗ) — свод сведений о природном, хозяйственном и правовом положении земель, местоположении, размерах, количестве и качестве земель, их кадастровой стоимости;
- Государственный *лесной кадастр* (ст. 69 Лесного кодекса РФ от 29.01.97 № 22-ФЗ) — сведения о качественном и количественном составах лесов, группах и категории их защищенности, экономической оценке лесов, правовом режиме использования лесного фонда;
- Государственный *кадастр объектов животного мира* (ст. 14 Закона «О животном мире» от 24.04.95 № 52-ФЗ) — в частности, содержит данные об объектах охотничьего и рыболовного промыслов с их качественной и количественной характеристикой, сведения о динамике восстановления, допустимых нормах изъятия;
- Государственный *кадастр особо охраняемых природных территорий* (ст. 4 Закона «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.95 № 33-ФЗ) — сведения о территориях с особым режимом использования;
- Государственный *кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых* (ст. 30 и 32 Закона «О недрах» от 21.02.92 № 2395-1 в редакции от 03.03.95 № 27-ФЗ) — свод сведений по каждому месторождению, характеризующих количество и качество основных и совместно залегающих полезных ископаемых;
- Государственный *водный кадастр* (ст. 79 Водного кодекса РФ от 16.11.95 № 167-ФЗ) — систематизирован-

[1] Бонитировка (от лат. *bonitas* — доброкачественность) — сравнительная оценка по важнейшим свойствам, качеству и ценности.

ный свод данных о водных объектах с текущей и перспективной оценками доступности их использования, а также данные о водопользователях.

Своеобразными государственными кадастрами являются Красная книга Российской Федерации и Красные книги субъектов РФ (см. разд. **10.2.2).**

Планирование, разработка и осуществление мероприятий по охране ОС. Для этого в Российской Федерации разрабатываются:

- федеральные программы в области экологического развития РФ;
- целевые программы в области охраны ОС субъектов РФ;
- мероприятия по охране ОС на уровне конкретных юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность, оказывающую негативное воздействие на ОС.

Программа (федеральная или целевая) *по охране ОС* — это комплекс мероприятий, направленных на решение экологических проблем, увязанных по ресурсам, срокам осуществления и исполнителям.

Эколого-экономическое планирование особенно актуально для зон (территорий) экологического бедствия и чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Планирование в общенациональном масштабе пока не реализовано ни в одной стране мира.

Система платежей. Подразделяют систему платежей на плату за:

- право пользованием природными ресурсами;
- загрязнение природной среды.

Цель платного природопользования:

- рациональное и комплексное использование природных ресурсов;
- стимулирование деятельности по охране окружающей среды;
- выравнивание социально-экономических условий хозяйствования при использовании природных ресурсов;
- формирование специальных фондов финансирования по охране и воспроизводству природных ресурсов.

Платежи за природные ресурсы (табл. 10.3). Они являются издержками предприятия, связанными с использованием ресурсов и рассчитанными в соответствии с действующей в стране методикой.

Таблица 10.3

Платежи за природные ресурсы, взимаемые в РФ

Объект	Вид платежа
Земля	Земельный налог Арендная плата Нормативная цена земли
Недра	Платежи за пользование недрами Отчисления на воспроизводство минерально-сырьевой базы Акцизы Сбор за участие в конкурсе (аукционе) и выдачу лицензий Плата за геологическую информацию о недрах, полученную за счет государственных средств
Вода	Плата за пользование водными объектами (водный налог) Плата, направляемая на восстановление и охрану водных объектов Сбор за выдачу лицензий на водопользование
Лес	Лесные подати Арендная плата
Растительные ресурсы	За сбор лекарственных трав и сырья За сбор недревесных ресурсов За заготовку технического сырья
Ресурсы животного мира	Плата за право пользования животным миром Арендная плата за пользование охотничьими угодьями

Платежи за загрязнение природной среды. Эти платежи осуществляются в соответствии с Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» (ранее Законом РСФСР от 19.12.91 №2060-1 «Об охране окружающей природной среды») и Постановлением Правительства РФ от 28.08.92 № 632 «Об утверждении порядка определения платы и ее определьнных размеров за загрязнения окружающей природной среды, размещения отходов, другие виды вредного воз-

действия» В 1997 г. создана общегосударственная «Инструкция по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды».

Инструкцией установлен перечень видов воздействий, за которые с предприятий (юридических лиц) взимается плата:

- выброс в атмосферный воздух загрязняющих веществ (ЗВ) от стационарных и передвижных источников;
- сброс ЗВ в поверхностные и подземные водные объекты, на рельеф местности, любое подземное размещение загрязняющих веществ;
- размещение отходов;
- другие виды вредного (физического) воздействия (шум, вибрация, электромагнитные и ионизирующие излучения и пр.).

Установлены два вида базовых нормативов платы:

- за выбросы, сбросы ЗВ, размещение отходов и другие виды воздействия в границах предельно допустимых нормативов (ПДВ, ПДС, ЛРО и др., см. разд. 10.4.2.2);
- за выбросы, сбросы ЗВ, размещение отходов, за другие виды вредного воздействия вне (сверх) границы предельно допустимых нормативов, но в пределах установленных лимитов (временно согласованных нормативов — ВСВ, ВСС и др., см. разд. 10.4.2.2).

Плата предприятия (объекта) за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов и другие виды воздействия $77^{пр}$ *в общем случае* определяется по формуле

$$П^{пр} = (П^{доп} + П^{лим} + П^{св.\,лим})\,K_{инфл}, \qquad (10.8)$$

где $П^{доа}$ — плата за загрязнение в границах предельно допустимых нормативов; $Л^{лим}$ — плата за загрязнение сверх границы предельно допустимых нормативов, но в пределах установленных лимитов; $/7^{свлим}$ — плата за сверхлимитное загрязнение ОС; $\#_{ин}ф_{л}$ — коэффициент инфляции (для московского региона в 2000 г. $K_{инфл.} = 80$, в 2001 г. $K_{инфл.} = 92$).

Плата предприятия за выбросы (сбросы) ЗВ от стационарных источников (см. разд. 10.4.2.2) определяется по формуле

$$П^{пр}_{стац} = (П^{доп}_{стац} + П^{лим}_{стац} + П^{св.\,лим}_{стац})\,K_{инфл}, \qquad (10.9)$$

где

$$П^{доп}_{стац} = \sum_{i}^{n} C^{доп}_{диф\,i}\, M^{доп}_{i} \qquad (10.10)$$

(t = 1, 2, ..., *n* — загрязняющее вещество, выбрасываемое (сбрасываемое) в пределах допустимого норматива; Сди*; — дифференцированная ставка платы за выброс (сброс) 1 т г-го ЗВ, в пределах допустимого норматива, руб./т; $M^{доп}_{i}$ — масса *i*-го ЗВ, выбрасываемого (сбрасываемого) в пределах допустимого норматива, т);

$$П^{лим}_{стац} = \sum_{j}^{m} C^{лим}_{диф\,j}\, M^{лим}_{j} \qquad (10.11)$$

(*j* = 1, 2, ..., *m* — загрязняющее вещество с выбросом (сбросом) сверх норматива, но в пределах установленного лимита; $C^{лим}_{диф\,j}$ — дифференцированная ставка платы за выброс (сброс) **1 т** *j*-**го** ЗВ сверх норматива, но в пределах установленного лимита, руб./т; $M'^{им}$ — масса у-го ЗВ, выбрасываемого (сбрасываемого) сверх норматива, но в пределах установленного лимита, т);

$$П^{св.\,лим}_{стац} = 5 \cdot \sum_{l}^{k} C^{лим}_{диф\,l}\, M^{св.\,лим}_{l} \qquad (10.12)$$

(*I* = 1, 2, ..., *k* — загрязняющее вещество с выбросом (сбросом) сверх установленного лимита; $C^{\wedge\prime\prime\wedge}_t$ — дифференцированная ставка платы за выброс (сброс) 1 т *1-го* ЗВ сверх норматива, но в пределах установленного лимита, руб./т; $M£^{в' лим}$ — масса *1-го* ЗВ, выбрасываемого (сбрасываемого) сверх установленного лимита, т).

Дифференцированная ставка платы за выброс (сброс) ЗВ определяется по формуле

$$C_{диф} = C_{баз} K_{экол.\,сит}, \qquad (10.13)$$

где $C_{баз}$ — базовый норматив платы за загрязнение в границах предельно допустимых нормативов; $K_{экол\,сит}$ — коэффициент экологической ситуации, учитывающий общую экологическую ситуацию и экологическое состояние водных объектов в конкретном регионе.

Схема применения видов базовых нормативов приведена на рис. 10.8. В общем случае масса фактически выбрасываемого (сбрасываемого) ЗВ

$$M^{\text{факт}} = M^{\text{доп}} + M^{\text{лим}} + M^{\text{св. лим}}. \qquad (10.14)$$

Плата предприятия за выбросы ЗВ от передвижных источников $П^{\text{пр}}_{\text{передв}}$ (например, автотранспорта) в пределах установленных лимитов определяется одним из двух методов:

- по количеству израсходованного топлива разного вида;
- по количеству имеющегося у предприятия собственных транспортных средств различного типа.

При этом расчет проводится по одной из формул:

$$П^{\text{пр}}_{\text{передв}} = K_{\text{инфл}} \sum_{j}^{t} C_{\text{диф}\,j} Q_j, \qquad (10.15)$$

где; = 1,2, ..., t — вид использованного топлива; $C_{\text{диф}\,j}$ — дифференцированная ставка платы за выброс всех ЗВ, образующихся при сжигании 1 т у'-го вида топлива, руб./т; $Q.$ — количество топлива у-го вида, использованного предприятием за отчетный период, т;

$$П^{\text{пр}}_{\text{передв}} = K_{\text{инфл}} \sum_{i}^{s} C_{\text{диф}\,j} P_i, \qquad (10.16)$$

где *1 = 1,2, ..., s* — группа автотранспортных средств; *C* .. — дифференцированная ставка платы за выброс всех ЗВ, обра-

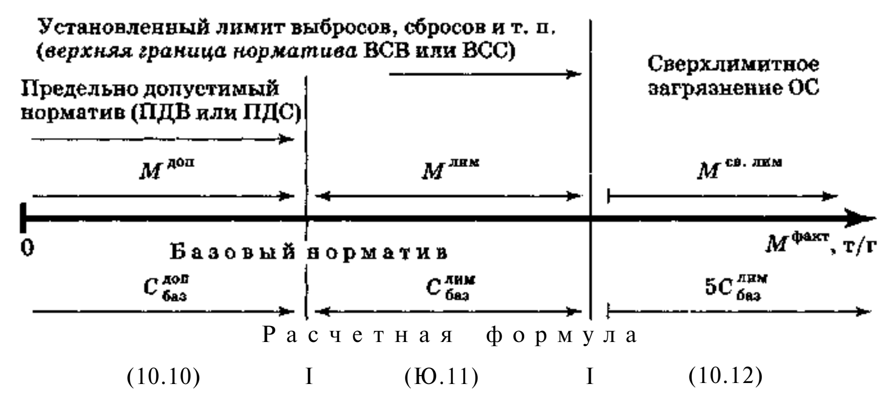


Рис. 10.8. Схема определения применимости видов базовых нормативов платы за загрязнение ОС в зависимости от массы фактического выброса (сброса) ЗВ

зующихся при среднегодовой эксплуатации автотранспорта *i-й* группы[1], руб. на 1 автомобиль; P_j — число автомобилей *i-й* группы у предприятия, шт.

Если государственные органы, уполномоченные в сфере охраны атмосферного воздуха, при инструментальной проверке устанавливают факт превышения технических нормативов выбросов ЗВ у автотранспорта предприятия, то вся плата за выбросы передвижных источников взимается с предприятия как за сверхлимитный выброс, т. е. умножается на коэффициент штрафных санкций.

Плата предприятия за размещение отходов

$$П_{отх}^{пр} = K_{инфл}(П_{отх}^{лим} + П_{отх}^{св.лим}) = $$
$$= K_{инфл} \sum_{i=1, j=1}^{n, 4} C_{диф ij}^{лим}(M_{ij}^{лим} + 25M_{ij}^{св.лим}), \qquad (10.17)$$

где $i = 1, 2, ..., n$ — класс токсичности отхода, размещаемого предприятием; $j = 1, 2, ..., 4$ — группа территорий для размещения отходов; $П_{отх}^{лим}$, $П_{отх}^{св.лим}$ — плата за размещение отходов соответственно в пределах и сверх установленных лимитов, руб.; $C_{отх}^{св.лим}$ — дифференцированная ставка платы за размещение 1 т отходов i-го класса токсичности на территории у'-й группы, руб./т; $M_{ij}^{лим}$, $M_{ij}^{св.лим}$ — масса отходов i-го класса токсичности, размещенных на территории ;'-й группы соответственно в пределах и сверх установленного лимита, т; 25 — повышающий коэффициент штрафных санкций.

Все территории, на которых производится размещение отходов, подразделяют на четыре группы:

1 — полигоны общегородского назначения для захоронения твердых бытовых отходов и твердых инертных промышленных отходов;

2 — полигоны, принадлежащие одному или группе природопользователей;

3 — территория природопользователя (временное хранение по согласованному проекту ЛРО);

4 — санкционированные свалки.

[1] Автомобили разбиваются на группы в зависимости от типа (дизельный или карбюраторный) и рабочего объема двигателя.

Базовый норматив платы C за размещение отхода i-го вида в пределах установленного лимита определяется по формуле:

$$C_{ij}^{\text{лим}} = s_i t_i, \qquad (10.18)$$

где S; — удельные затраты на размещение единицы массы отхода IV класса токсичности; *t,* — показатель, учитывающий класс токсичности отхода.

Плата предприятия за другие (физические) виды воздействия $\Pi_{\text{физ}}^{\text{пр}}$ взимается пока только в отдельных (ограниченных) случаях. Методика ее определения находится в стадии апробации. Так, в г. Н. Новгороде взималась плата за акустическое (шумовое) и электромагнитное загрязнения ОПС.

При отсутствии у природопользователя разрешений установленного образца на выброс, сброс, размещение отходов, выдаваемых специально уполномоченными на то государственными органами РФ в области охраны ОС, за всю массу загрязняющих веществ (отходов) взимается плата как за сверхлимитное загрязнение ОС.

Платежи за загрязнение, размещение отходов относятся на результаты финансовой деятельности природопользователей — плательщиков.

Физические лица, для которых использование окружающей природной среды является естественным условием их жизнедеятельности, плательщиками не являются.

В соответствии с п. 4 ст. 16 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС»

внесение платы за негативное воздействие на ОС не освобождает субъектов хозяйственной деятельности от выполнения мероприятий по охране ОС и возмещения вреда, нанесенного ОС.

Финансирование. Финансирование природоохранных мероприятий, включая экологические программы различных уровней, проводится из следующих источников:
- бюджеты всех уровней;
- средства предприятий, учреждений и организаций;
- фонды экологического страхования;
- кредиты банков;
- займы в инвалюте;

- средства населения, включая добровольные взносы иностранных юридических лиц и граждан.

Экологическое страхование. Это создание за счет денежных средств предприятий, организаций, граждан специальных резервных фондов (страховых фондов), предназначенных для возмещения ущерба, потерь, вызванных неблагоприятными событиями, экологическими и стихийными бедствиями, авариями и катастрофами. По сути это, во-первых, страхование ответственности объектов — потенциальных виновников аварийного, непреднамеренного загрязнения среды, во-вторых, страхование собственных убытков, возникающих у источников такого загрязнения. Цель такого страхования — наиболее полная компенсация нанесенного экологического вреда. Страховое возмещение включает компенсацию ущерба, расходы по очистке загрязненной территории и приведению ее в пригодное состояние, расходы по спасению жизни и имущества лиц, которым в результате страхового события причинен вред.

Правовая база экологического страхования в России опирается на Федеральные законы от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» (бывший Закон РСФСР от 19.12.91 № 2060-1 «Об охране окружающей природной среды»), от 31.12.97 № 157-ФЗ «Об организации страхового дела в РФ» (бывший Закон от 27.11.92 № 4015-1 «О страховании»), Закон от 25.12.90 № 445-1 «О предприятиях и предпринимательской деятельности», а также на Федеральный закон от 21.07.97 № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных промышленных объектов», статья 15 которого требует обязательное страхование ответственности за причинение вреда ОС в случае аварии на опасных производственных объектах.

В экологическом страховании различают формы, виды и источники страховых выплат (рис. 10.9).

В настоящее время основной задачей является формирование правовой и нормативно-методической базы для введения экологического страхования и планирования эффективного использования резервов превентивных природоохранных мероприятий, образующихся в страховых компаниях.

Эколого-экономическое стимулирование. Это составная часть экономического механизма управления в сфере природопользования и охраны ОС, которая включает в себя:

- налогообложение;
- ценовую политику;

финансово-кредитный механизм природоохранной деятельности (льготное кредитование, **дотации**[1], **субсидии**[2], **субвенции**[3] и т. д.);
государственную поддержку предприятий, производящих природоохранное оборудование и контрольно-измерительные приборы, а также фирм, выполняющих и оказывающих услуги экологического назначения;

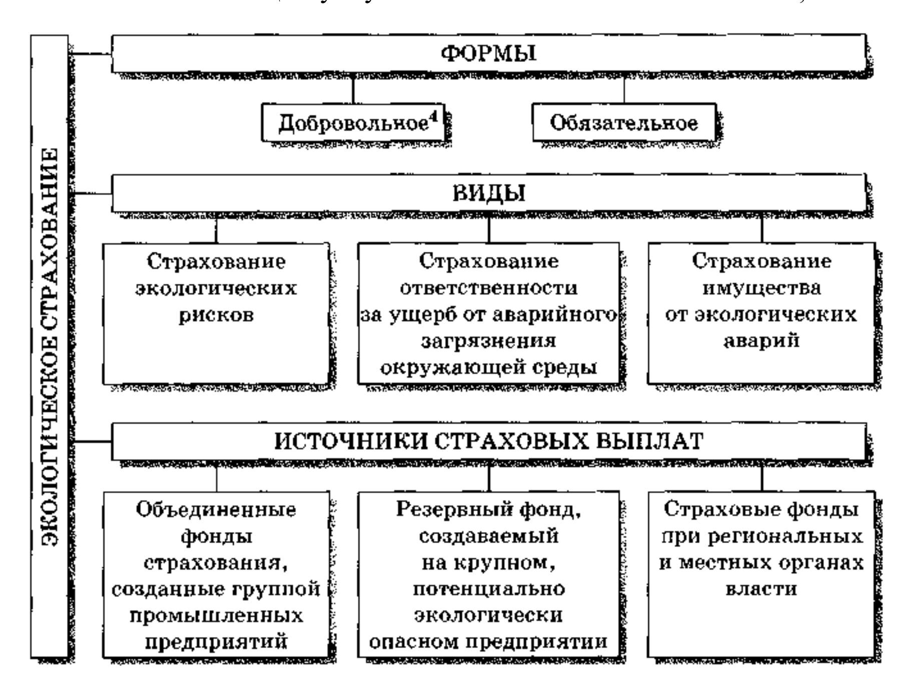


Рис. 10.9. Система экологического страхования (по *С. В. Макару)*

[1] Дотация (от лат. *dotation* — дар, пожертвование) — 1) доплата, материальная помощь, государственное пособие; 2) денежная сумма, выделяемая из бюджета вышестоящего уровня на безвозмездной, безвозвратной и (или) внецелевой основе в бюджет нижестоящего уровня.

[2] Субсидия (от лат. *subsidium* — помощь, поддержка) — 1) денежное пособие; 2) денежная сумма, выделяемая на определенный срок из вышестоящего бюджета в нижестоящий для финансирования конкретных программ социально-экономического развития и предполагающая долевое участие нижестоящего бюджета в данном финансировании.

[3] Субвенция (от лат. *subvention* — приходить на помощь) — денежная сумма, выделяемая из вышестоящего бюджета нижестоящему. Имеет срочный характер и точное целевое назначение.

[4] С 2002 г. упразднено (см. закон от 10.01.02 № 7-ФЗ).

- создание системы экологической сертификации, в том числе аккредитации органов по сертификации;
- формирование рынка экологических работ и услуг;
- проведение политики торговли правами на загрязнение;
- лицензирование использования природных ресурсов.

Конкретный перечень и объемы перечисленных мер экономического стимулирования зависят от уровня, на котором оно проводится.

Современный экологический кризис затрагивает все Человечество. Злободневные экологические проблемы необходимо решать всем, причем не только на глобальном общемировом уровне (см. разд. **10.7**), но и на уровне каждого отдельного государства.

Существующая в России система экономических механизмов охраны ОС, введенная в **1991** г. Законом РСФСР «Об охране окружающей природной среды», представляет собой уникальное сочетание всех известных рычагов. При этом ведется постоянный поиск путей повышения эффективности работы этой системы.

Реализуемость системы налогообложения зависит от готовности человека заплатить налог. Если в стране охране среды не уделяется должного внимания, то загрязняющий среду объект не имеет экономического стимула к снижению выбросов или компенсирующих выплат за них. Экономические рычаги должны стимулировать предприятие к поиску и применению новых технологий и материалов, к разработке и установке очистных устройств и сооружений.

10.4. Регламентация воздействия на биосферу

10.4.1. Экологическая стандартизация

Экологическая стандартизация — активно развивающееся направление нормативно-правового регулирования охраны окружающей среды и природопользования.

Экологические стандарты[1] — это прежде всего нормативно-технические документы, в которых определяются отдельные экологические требования. Кроме того, в экологическом праве тем же термином обозначают ПДК загрязняющих ве-

Стандарт (от англ. *standard* — норма, образец, мерило).

ществ в окружающей среде (воздухе, воде, почве) и ПДУ вредных физических воздействий на ОС[1].

Экологические стандарты относятся к подзаконным правовым актам.

Кроме специальных стандартов, касающихся вопросов охраны ОС и природопользования, ст. 7 Закона от 10.06.93 № 5154-1 «О стандартизации» предусматривается, что

> если продукция, работы или услуги, на которые разрабатываются государственные стандарты, касаются вопросов охраны окружающей среды, то такие стандарты должны содержать требования по их безопасности для окружающей среды, жизни и здоровья людей.

Госстандартом РФ в настоящее время разработано и утверждено более 50 отечественных экологических стандартов. Центральным является ГОСТ 17.0.0.01—76 «Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов», введенный в действие еще в 1977 г.

В системе стандартов в области охраны природы (ССОП), представляющей комплекс взаимосвязанных экологических стандартов, используется определенная структура обозначений. Так, цифровой код ГОСТ 17.2.3.02—78 («Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов промышленными предприятиями») означает следующее:

«17» — система ССОП;

«2» — шифр подсистемы (2 — атмосфера);

«3» — шифр направления действия стандарта (3 — правила охраны природы и рационального использования природных ресурсов);

«02» — порядковый номер стандарта в данном направлении;

«78» — год утверждения или пересмотра стандарта.

Ряд экологических стандартов имеет иную, принятую для большинства российских стандартов систему обозначений. К ним, например, относится ГОСТ 23023-85 «Самолеты винтовые легкой весовой категории. Допустимые уровни шума, методы определения уровней шума, создаваемого на местности».

Промышленно развитые страны первыми ощутили на себе экологические проблемы XX в., выработали и реализовали оп-

[1] В ряде стран (США, Япония и др.) эти нормативы относятся именно к стандартам — стандарты качества воздуха *(air quality standards),* воды *(water quality standards)* и шума *(noise standards).*

Промышленно развитые страны первыми ощутили на себе экологические проблемы XX в., выработали и реализовали определенную стратегию управления ОС, т. е. применили экологически ориентированные методы управления. Большой практический опыт, накопленный мировым сообществом в области охраны ОС, стал основой ряда международных стандартов.

Международная организация по стандартизации[1] (ИСО), продолжая традиционную для своей деятельности разработку стандартов на методы контроля компонентов биосферы (воздух, вода, почва), в 90-е годы приступила к созданию комплекса международных стандартов на системы экологического управления, а именно стандарты ИСО серии 14 000. Для этого в 1993 г. ИСО создала Технический комитет ИСО «Экологическое управление» — ИСО/ТК 207 (рис. 10.10).

Для использования международного опыта в нашей стране разрабатываются и постановлениями Госстандарта России вводятся в действие *отечественные стандарты, представляющие собой аутентичные тексты международных стандартов* ИСО серии 14 000. В 1998—2001 гг. в РФ были приняты и введены в действие первые 14 стандартов, в том числе:

- три стандарта по управлению ОС (экологическому менеджменту);
- три стандарта по экологическому аудиту (см. разд. 10.4.8);
- четыре стандарта по оценке жизненного цикла[2] продукции (системы услуг) и экологической эффективности;
- три стандарта — экологические этикетки и декларации;
- один стандарт — словарь основных терминов с определениями.

Полное официальное обозначение и название первого из этих стандартов: ГОСТ Р ИСО 14 001-98 «Системы управления окружающей средой. Требования и руководство по применению».

[1] Считается, что история международной стандартизации началась в 1886 г. в Дрездене (Германия) на совещании об общих стандартах на методы испытания материалов. В 1945 г. 25 стран основали Международную организацию по стандартизации (ИСО — *International Standards Organization),* в настоящее время насчитывающую более 100 членов (стран) и имеющую статус специализированного учреждения ООН. Россия является постоянным членом руководящих органов ИСО и активным членом большинства из 200 Технических комитетов ИСО.

[2] Выражение «жизненный цикл» ново для отечественной экологической терминологии. По сути, это синоним понятия «ресурсный цикл» (см. гл. 9).

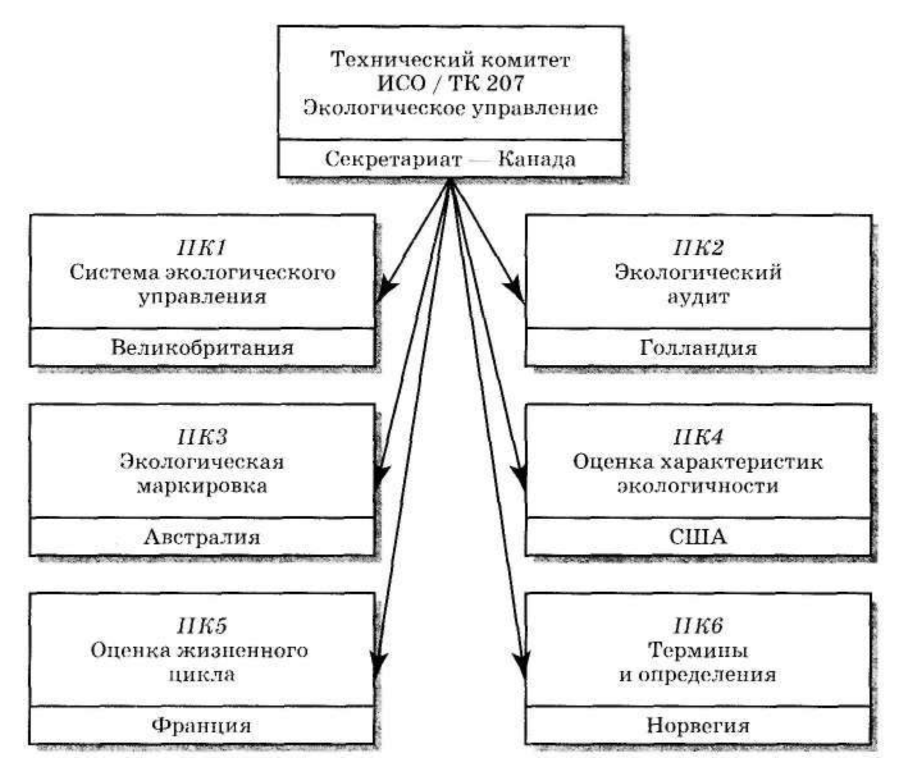


Рис. 10.10. Структура Технического комитета ИСО/ТК 207 «Экологическое управление»

практически только началось. На первом этапе работы (в ближайшее время) предполагается подготовить 20—30 международных экологических стандартов такого типа.

Методология оценки жизненного цикла пока еще находится на стадии становления и, как признается в самом стандарте, восприимчива для включения в нее новых научных результатов и усовершенствования технологий.

10.4.2. Нормирование

Одним из основных путей ограничения негативного влияния на биосферу является нормирование (установление норм) допустимых уровней воздействия на отдельные экосистемы и компоненты всей биосферы. Нормирование качества окружающей среды — одна из центральных идей как Закона

РСФСР от 19.12.91 № 206-1 «Об охране окружающей природной среды», так и сменившего его Федерального закона от 10.01.02 № 7-Ф>3 «Об охране окружающей среды».

Качество природной среды — совокупность показателей состояния ее экологических систем, которое постоянно и неизменно обеспечивает (или не обеспечивает) полноценные процессы обмена веществ и энергии в природе, между природой и человеком, а также условия для воспроизводства жизни. Качество природы обеспечивается самой природой путем: саморегуляции, самоочищения от вредных для нее веществ.

Качество ОС характеризуется совокупностью химических, физических, биологических и иных ее показателей.

Благоприятная окружающая среда — такая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов.

Нормирование в области охраны ОС — деятельность по установлению:

- нормативов (показателей) качества ОС;
- нормативов допустимого воздействия на ОС при осуществлении хозяйственной и иной деятельности;
- иных нормативов в области охраны ОС;
- государственных стандартов и иных нормативных документов в области охраны ОС.

Цель норллирования — государственное регулирование воздействия хозяйственной и иной деятельности на ОС, гарантирующего сохранение благоприятной ОС при соблюдении социальных и экономических интересов общества.

Разработка нормативов в области охраны ОС включает в себя:

- установление оснований для разработки или пересмотра нормативов;
- научно-исследовательские работы по обоснованию нормативов;
- экспертизу, утверждение и опубликование в установленном порядке;
- контроль за применением и соблюдением нормативов;
- формирование и ведение единой информационной базы данных;
- оценку и прогнозирование экологических, социальных, экономических последствий применения нормативов.

В определенной степени допустимые нормативы — это в настоящее время компромисс между экономикой и экологией, компромисс вынужденный, позволяющий взаимовыгодно развивать хозяйство и охранять жизнь, благополучие и благосостояние людей.

Роль нормативов качества ОС заключается, с одной стороны, в оценке ее (среды) качества, с другой — в установлении лимитов (ограничений) на источники вредного воздействия.

В связи с этим нормативы качества базируются на трех основных показателях:

- *медицинском* — пороговом уровне угрозы здоровью человека, его генетической программе;
- *технологическом* — способности экономики техническими средствами обеспечить выполнение установленных пределов воздействия на человека и среду его обитания;
- *научно-техническом* — способности с помощью технических средств контролировать соблюдение пределов всех видов антропогенного воздействия на человека и окружающую его среду.

Нормативы качества не относятся к числу законодательных норм. Это технические или технико-экономические показатели, которые сами по себе не обладают юридической силой. Как и многие другие научно-технические рекомендации и разработки, они помогают в решении тех или иных вопросов, однако не являются обязательными для соблюдения.

Норматив становится юридически обязательным только с момента утверждения его компетентным органом.

Нормативы качества окружающей среды едины и обязательны для всех природ опользовател ей, независимо от формы собственности и подчиненности на всей территории России. При этом Федеральный закон «Об охране ОС» от 10.01.02 № 7-ФЗ (ст. 22, п. 2) предусматривает, что нормативы допустимого воздействия на окружающую среду должны обеспечивать соблюдение нормативов качества ОС с учетом природных особенностей территорий и акваторий. Не случайно для таких особо охраняемых природных территорий, как заповедники, заказники, национальные и природные парки, а также для курортных и рекреационных зон установлены более строгие нормативы допустимого воздействия.

В соответствии с п. 3 ст. 19 Федерального закона «Об охране ОС» нормативы и нормативные документы разрабатывают-

ся, утверждаются и вводятся в действие на основе современных достижений науки и техники с учетом международных правил и стандартов.

Разработанные в конце XX в. и действующие в настоящее время экологические нормативы чаще всего объединяют в группы, рассмотренные далее.

10.4.2.1. Санитарно-гигиенические нормативы[1]

Санитарно-гигиенические нормативы ориентированы на показатели здоровья человека, в том числе в зависимости от состояния окружающей его среды, поскольку

ц нельзя быть здоровым в нездоровой среде обитания.

Согласно действующему в РФ положению, санитарно-гигиеническое нормирование — часть основ обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, направленное на разработку научно обоснованных критериев безопасности и безвредности для здоровья человека факторов среды его обитания и условий его жизнедеятельности. Оно охватывает не только экологическую, но и производственную, и жилищно-бытовую сферу жизни человека.

Нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК). Предельно допустимые концентрации химических (включая радиоактивные) и биологических веществ и микроорганизмов в атмосфере, воде и почве являются в настоящее время главными нормативами качества ОС.

С рассмотренных ранее (см. разд. 3.2) экологических позиций ПДК вредных веществ — это верхний предел устойчивости организма, при превышении которого концентрация того или иного вещества (как экологический фактор) становится лимитирующим.

Основные принципы, применяемые в нашей стране при санитарно-гигиеническом нормировании химических веществ, разработаны академиками А. Н. Сысиным и С. Н. Черкинским. Один из них заключается в концепции пороговости воздействия. **Порог воздействия** — это такая концентрация химического вещества или любого вида воздействия, которая вызывает переход биологического объекта из одного качественного состояния в другое.

[1] Данная группа нормативов разработана наиболее полно.

Установление численного значения ПДК[1] основывается на следующих предпосылках:

- допустимой признается такая концентрация, которая прямо или косвенно не оказывает вредного или неприятного воздействия на человека, его работоспособность, самочувствие и настроение[2];
- привыкание к вредному веществу недопустимо;
- воздействие на человека оценивается по влиянию на самые чувствительные органы с двух- или трехкратным запасом;
- реакция организма определяется по данным объективных измерений.

Разработка нормативов ПДК проводится с применением методов **токсикологии**[3]**.**

Исследования и количественная оценка токсичности и опасности веществ включают в себя большой набор показателей с обязательной оценкой смертельных эффектов, кумулятивное - ти, кожно-раздражающего, сенсибилизирующего, эмбриотропного действия, влияния на сердечно-сосудистую систему, репродуктивную функцию, исследование отдаленных эффектов.

Большая часть исследований проводится в экспериментах на животных (крысах, мышах, кроликах, обезьянах и др.). Ряд параметров получают по результатам обобщения и статистического анализа данных наблюдений работников соответствующих производств, а некоторые параметры — по результатам экспериментов на людях-добровольцах (определение порогов воздействия, раздражающего и рефлекторного действия и т. п.). Исследования на людях проводятся лишь в случае полной гарантии безопасности испытуемых (таково требование Хельсинской конвенции и ряда других международных и отечественных документов).

Процедура разработки и утверждения нормативов ПДК достаточно длительна, трудоемка и дорога, поэтому действую-

[1] Для упрощения изложения материала здесь и далее вместо «ПДК вредного (загрязняющего или иного) вещества» используется сокращенное выражение — ПДК.

[2] С этих позиций вредным следует признать даже наличие приятного запаха на рабочем месте, точно так же как и добавление сахара к водопроводной воде.

[3] Токсикология (от греч. *taxikon* — яд + ... логия) — наука о свойстве и механизме действия на организмы ядовитых химических веществ, способах лечения и предотвращения отравлений.

щими в нашей стране правилами предусматривается после получения предварительных результатов исследований устанавливать норматив ориентировочно безопасного уровня воздействия (ОБУВ) — временный гигиенический норматив, утверждаемый постановлением Главного Государственного санитарного врача РФ по рекомендации Комиссии по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию при Минздраве России.

Норматив ОБУВ устанавливается сроком на три года, после чего он должен быть пересмотрен или заменен окончательным значением ПДК. С момента утверждения ПДК ранее установленный ОБУВ для данного вещества утрачивает силу.

Воздушная среда. В качестве определяющего показателя вредности в воздушной среде принята направленность биологического действия вещества: рефлекторная или резорбтивная. *Рефлекторное* (органолептическое) действие — это реакция рецепторов верхних дыхательных путей — ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания и т. п. Указанные эффекты возникают при кратковременном (остром) воздействии вредных веществ, поэтому рефлекторное действие лежит в основе установления *максимальной разовой* ПДК ($ПДК_{м}$). Принято, что в этом случае длительность воздействия вещества на организм составляет не более 20 мин.

Резорбтивное (токсическое) действие — это возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и длительности его вдыхания (т.е. хроническое действие). С целью предупреждения развития резорбтивного действия ПДК устанавливаются среднесуточная (ПДК) и среднесменная ($ПДК_{см}$). В этом случае длительность воздействия вещества составляет 24 и 8 ч соответственно.

Некоторые красящие вещества (красители), не оказывая на уровне низких концентраций ни рефлекторного, ни резорбтивного действий, при их осаждении из воздуха могут придавать необычную окраску объектам ОС, например, снегу, тем самым создавая у человека ощущение опасности или санитарно-гигиенического дискомфорта. В связи с этим для красителей в качестве лимитирующего устанавливается санитарно-гигиенический показатель, позволяющий при соблюдении ПДК избежать появления необычной окраски объектов ОС.

Для воздушной среды существует несколько видов ПДК. Так, прежде всего отличаются нормативы ПДК вредных веществ в воздухе рабочих зон ($ПДК^{раб}$-^{3}) и ПДК тех же ве-

ществ в атмосферном воздухе населенных пунктов (ПДК^{атмв}). Различие начинается с их определений.

Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны — это максимальная концентрация вредного вещества, которая при ежедневной (кроме выходных) работе в течение 8 ч и не более 40 ч в неделю в течение всего трудового стажа не должна вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. При этом у лиц с повышенной чувствительностью возможны некоторые нарушения состояния здоровья (ГН 2.2.5.686-98).

Для большинства веществ ПДК^{раб}-^{3} являются максимально разовыми (ПДК^{рй}р'^{3}). Для высококомулятивных веществ наряду с максимальными установлены также значения и среднесменных ПДК (ПДК$^{раб}_{с}$°).

Для воздуха на территории предприятия (промплощадке) считается допустимым присутствие вредных веществ с максимальной концентрацией не более 30% от их допустимой концентрации в рабочей зоне, т. е.:

щщпр.пл. = о,3 • ПДК^{раб}-^{3}. (10.19)

Это позволяет использовать атмосферный воздух вне производственных помещений для вентиляции рабочих зон внутри их.

Предельно допустимая концентрация в атмосферном воздухе — это максимальная концентрация вредного вещества в атмосфере, отнесенная к определенному времени усреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного действия, включая отдаленные последствия, а также не влияет на окружающую среду в целом (ГОСТ 17.2.1.04-77).

Поскольку в производственных условиях вредные вещества воздействуют только на взрослых трудоспособных людей, прошедших необходимое медицинское обследование (исключая детей, больных, стариков) и, как следует из определения, только ограниченное время, то численное значение ПДК^{раб}-^{3}, значительно больше, чем значение ПДК^{атмв} для того же вещества (табл. 10.4).

Значение нормативов ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе санаторно-курортных зон принимается численно на 20% меньше, чем для обычных населенных мест:

щщсан-кур.з $_{=}$ о,8 • ПДК^{атмв}. (10.20)

Таблица 10.4

Значения ПДК некоторых вредных веществ

Вещество	Предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м^3			
	рабочей зоны		атмосферного воздуха	
	$\text{ПДК}_{\text{м.раз}}$	$\text{ПДК}_{\text{ср.смен}}$	$\text{ПДК}_{\text{м.раз}}$	$\text{ПДК}_{\text{ср.сут}}$
Свинец (Pb) и его неорганические соединения	**0,01**	**0,005**	**0,001**	**0,0003**
Фтористый водород (HF)	**0,5**	**0,1**	**0,02**	**0,005**
Диоксид азота ($N0_2$)	**2**	**2**	**0,085**	**0,04**
Серная кислота (H_2S0_4)	**1**	**1**	**0,3**	**0,1**
Бензол (C_6H_6)	**15**	**5**	**0,3**	**ОД**
Оксид углерода (CO)	**20**	**20**	**5**	**3**

При одновременном присутствии в воздухе в одном и том же месте *n* вредных веществ однонаправленного действия (обладающих эффектом суммации вредного действия на организм человека) их концентрации С должны удовлетворять условию:

$$(C_1/\text{ПДК}_1) + (C_2/\text{ПДК}_2) + \ldots + (C_n/\text{ПДК}_n) \leqslant 1. \quad (10.21)$$

В нашей стране первые нормативы ПДК ряда веществ в рабочих помещениях были введены в 20-х годах прошлого века. «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий — СН 245-71» включали ПДК^{раб}-^{3} для более 600 индивидуальных веществ, ГОСТ 12.1.005-88 содержал значения ПДК^{раб}-^{3} 1374 веществ, а действующие в наши дни гигиенические нормативы ПДКР^{аб3} (ГН 2.2.5.686-98) и ОБУВ?^{86}-^{3} (ГН 2.2.5.68-98) включают 2259 и 494 вещества соответственно и продолжают дополняться.

Предельно допустимые концентрации в атмосферном воздухе населенных пунктов для первых десяти веществ были введены в 1951 г. Позже существовали и регулярно дополнялись списки ПДК и ОБУВ Минздрава СССР. В 1998 г. Российский регистр потенциально опасных химических и биологиче-

ских веществ[1] Минздрава России обобщил и усовершенствовал имеющиеся данные в гигиенических нормативах ПДК^{атмв} (ГН 2.1.6.695-98) и ОБУВ^{атмв} (ГН 2.1.6.696-98), охватывающих 628 и 1495 индивидуальных веществ соответственно. В них введены следующие принципиальные изменения:

- в связи с чрезвычайно высокой биологической активностью ряда веществ они объединены в специальный раздел «Вещества, выброс которых в атмосферный воздух запрещен». В основном это 38 сильнодействующих лекарственных препаратов, например седуксен, наркотин (он же морфин), преднизолон, зоокумарин и др.;
- признано недопустимым наличие одинаковых значений ПДК$_м$ и ПДК , имевшееся в прежних перечнях. Для соответствующих веществ проведена корректировка по результатам новых научных разработок;
- исключены вещества, для которых в 1997 г. установлены ОБУВ сроком на один год, так как срок действия этого норматива три года.

Действующие в России значения ПДК для большинст-ва веществ являются более жесткими нормативами, чем установленные в других странах (табл. 10.5 и 10.6). Однако следует учитывать, что токсикологические подходы к установлению пороговых значений в этих странах могут быть иные, чем в России. Так, в США во внимание принимаются более значительные последствия действия вредных веществ, такие, как появление опухолей, снижение дыхательной функции и т. п.

Водная среда. *Предельно допустимая концентрация вещества в водной среде* — это такая концентрация индивидуального вредного вещества, выше которой вода непригодна для водопользования соответствующего вида. Выделяют следующие виды водопользования:

- хозяйственно-питьевое;
- коммунально-бытовое;
- рыбохозяйственное.

[1] Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ ведет государственную регистрацию таких веществ, производимых, ввозимых и применяемых на территории РФ. Для этого собирается информация об их номенклатуре, назначении, производстве, применении, свойствах, биологическом действии и поведении в ОС, включая информацию о методах лечения и оказания первой необходимой помощи в случае острых отравлений.

Таблица 10.5

Значения $ПДК^{атмв}$ вредных веществ по национальным стандартам

Вещество	Предельно допустимая концентрация, мг/м^3			
	по национальному стандарту чистоты окружающего воздуха (США)		по ГН 2.1.6.695-98 Минздрава России	
	$ПДК^{м.раз*}$	$ПДК^{ср.сут*}$	$ПДК^{м.раз}$	$ПДК^{ср.сут}$
Свинец (Pb) и его неорганические соединения		0,0015	0,001	0,0003
Диоксид азота ($N0_2$)		0,1	0,085	0,04
Озон (0_3)	0,235		0,16	0,03
Диоксид серы ($S0_2$)	1,3	0,365	0,5	0,05
Оксид углерода (CO)	40	10	5	3

Приведены значения для временных интервалов усреднения, наиболее близких к принятым в нашей стране.

Таблица 10.6

Значения $ПДК^{раб-3}$ вредных веществ по национальным стандартам

Вещество	**Предельно допустимая концентрация, мг/м^3**	
	по стандарту чистоты воздуха на рабочих местах (США) средняя за 8 ч (среднесменная)	**по ГН 2.2.5.686-98 Минздрава России средняя за 20 мин (максимальная разовая)**
Цианистый водород (HCN)	**11**	0,3
Оксид углерода (CO)	**55**	20
Этиловый спирт (C_2H_2OH)	**1900**	1000

Наиболее жесткие нормативы ПДК установлены для водоемов рыбохозяйственного назначения, к которым отнесены практически все водные объекты на территории России. При использовании водного объекта для различных нужд приори-

тет отдается более жестким требованиям. При нормировании вредных веществ в воде учитываются три основных критерия: 1) общий санитарный режим водного объекта; 2) органолептические свойства; 3) здоровье населения.

По первому критерию оценивается влияние вредных веществ на процессы самоочищения воды от органических загрязнений в сточных водах, для чего определяется количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ и развития водной микрофлоры. Характеристиками загрязненности воды в этом случае являются биологическое и химическое потребление кислорода (ВПК и ХПК — см. стр. 191).

По второму критерию устанавливаются пороговые значения на группах людей-добровольцев, подобранных по способности к восприятию запахов. Порог ощущения запаха для самых чувствительных индивидуумов принимается в качестве $ПДК^{вод}$ данного вещества.

По третьему критерию наиболее сложно определить влияние вредного вещества на здоровье человека. С этой целью проводятся санитарно-токсикологические исследования по установлению максимальной недействующей дозы (концентрации) вещества.

Первые ПДК вредных веществ для питьевой воды были утверждены в 1939 г. Для оценки водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения в 1991 г. использовалось около 2000 норм, а для рыбохозяйственного водопользования — 1000 норм ПДК, причем лишь некоторые вещества повторяются в разных перечнях.

Почвенная среда. *Предельно допустимая концентрация вещества в почве* — это такая максимальная концентрация индивидуального вредного вещества, при которой оно прямо или косвенно не влияет на соприкасающиеся с почвой среды, на здоровье человека, а также на способность почвы к самоочищению и вегетации (росту и развитию) растений.

В соответствии с путями миграции химических веществ из почвы выделяют следующие разновидности ПДК:

- транслокационная — характеризующая переход веществ из почвы через корневую систему в зеленую массу и плоды растений;
- миграционная воздушная — переход веществ из почвы в атмосферу;
- миграционная водная — переход веществ из почвы в подземные грунтовые воды и водоисточники;
- общесанитарная — влияние веществ на самоочищающую способность почв и микробиоценоз.

В зависимости от перечисленного, а также от физико-химических свойств конкретного вещества, показателей его стойкости и токсичности и с учетом данных о фоновой концентрации экспериментально устанавливают максимальную концентрацию этого вещества в почве, при которой:

- содержание вещества в пищевых и кормовых растениях не превышает некоторых допустимых остаточных количеств (ДОК), иначе называемых ПДК, в продуктах питания ($ПДК^{пр-пит}$)[1];
- поступление вещества в воздух (для летучих веществ) не вызывает превышения ПДК для атмосферного воздуха;
- поступление вещества в грунтовые воды не вызывает превышения ПДК для водных объектов;
- не оказывается влияние на микроорганизмы, процессы самоочищения почвы и способность обеспечивать вегетацию растений.

В качестве $ПДК^{почвы}$ принимается наиболее жесткий показатель из вышеперечисленных. При отсутствии ПДК могут устанавливаться временно допустимые концентрации $ВДК_{почвы}$, которые определяются по эмпирическому уравнению

$$ВДК_{почвы} = 1{,}23 + 0{,}48 \cdot \lg ПДК^{пр.пит}. \qquad (10.22)$$

Первые нормы ПДК вредных веществ в почве введены в 1980 г. В настоящее время установлены $ПДК^{почвы}$ для 109 веществ, а для 70 веществ — ориентировочно допустимые концентрации. Это в основном пестициды, ряд тяжелых металлов, а также некоторые микроэлементы.

Помимо нормативов ПДК, существует ряд дополнительных показателей санитарного состояния почвы, определяемых как на территории населенных пунктов, так и производственных объектов:

- санитарно-физико-химические оценки, характеризующие в основном почвенные фильтраты;
- санитарно-энтомологические оценки в виде численности синантропных видов насекомых (в первую очередь мух во всех фазах развития);
- санитарно-гельминтологические оценки, характеризующие наличие гельминтов (червей, паразитирующих в органах человека, животных, растений) в местах, посещаемых населением;

[1] Содержание примесей нормируется в зависимости от вида продуктов, выращиваемых на данной почве или в данном хозяйстве (мясных, молочных, рыбных, растительных).

- санитарно-бактериологические оценки, в том числе учитывающие наличие бактерий кишечной группы и других болезнетворных микроорганизмов.

Нормативы предельно допустимых остаточных количеств вредных химических веществ в продуктах питания (ПДК$^{\text{прпит}}$). Вредные вещества попадают в продукты питания человека различными путями: из почвы через корни, из воздуха через листья, а также при опрыскивании различными ядохимикатами. В любом случае они далее включаются в пищевые цепи и попадают в организм человека. Поэтому основным ограничением является допустимое остаточное количество (ДОК) вредного вещества в продуктах питания или в урожае в период его сбора, которое измеряется в граммах или миллиграммах на 1 кг кормовых или пищевых продуктов.

Наиболее распространенные вредные вещества в продуктах питания — это пестициды, тяжелые металлы и их соединения, синтетические моющие средства, нитраты, нитриты, радионуклиды, токсины микроорганизмов, лекарственные средства. Часть этих веществ попадает с исходным сырьем, часть — в результате непреднамеренного загрязнения при переработке (остатки упаковки, моющие средства и т. п.). В нашей стране в пищевых продуктах контролируются 14 химических ингредиентов, из которых наиболее опасны соединения кадмия, ртути и свинца.

Тяжелые металлы и их соединения взаимодействуют с белками, блокируют различные ферментные системы и нарушают физиологические функции организма. Они накапливаются в органах и тканях, особенно в костной (см. разд. 5.1.3 и 9.1.1).

В наши дни большое количество вредных веществ, обнаруживаемых в продуктах питания человека в недопустимых количествах, попадает в них с пищевыми добавками. В разных странах используется более 500 наименований специальных добавок. Это химические средства консервации, пищевые красители, вкусовые ингредиенты и вещества, улучшающие товарный вид, антиокислители и др. (см. разд. 8.2.3).

Первые законодательные акты, регламентирующие их применение, появились в 1887 г. в Германии, где был издан закон о пищевых красителях. Позже подобные требования были предъявлены и в других странах, причем сначала они были основаны на «негативных списках» — перечнях запрещенных веществ. В настоящее время большинство стран, включая Россию, используют «позитивные списки» — перечни веществ, рекомендованных для использования в пищевой промышленности.

По отечественному законодательству нормативы $ПДК^{прпит}$ устанавливают для каждого химического вещества отдельно и при их суммарном действии. Кроме прочих установлены нормы содержания в продуктах питания радионуклидов (цезия и стронция), применяемых в ветеринарии антибиотиков, транквилизаторов, гормонов. Повышенные требования применяют к детскому и лечебному питанию.

Согласно международным стандартам, безопасность продуктов (как и прочих товаров) для населения должна быть отражена на их этикетках, где указываются компоненты (вещества), способные повлиять на здоровье. В европейских странах для этого введена специальная система экомаркировки — особых меток, означающих безопасность товара для здоровья потребителя.

Согласно ГОСТу **Р ИСО 14020-99,** экологическая этикетка — это заявление, информирующее об экологических аспектах продукции или услуг. Она может иметь форму заявления, знака или графического изображения. Общая цель такой этикетки — доведение до потребителя надежной и достоверной информации об экологических аспектах продукции (товара или услуги). Тем самым стимулируется воздействие рынка на природоохранную деятельность производителей, ибо потребитель выбирает продукцию, оказывающую менее негативное воздействие на окружающую среду.

Нормативы, предельно допустимых уровней (ПДУ) физических воздействий. Эти нормативы включают:

- ПДУ шума;
- ПДУ виброскорости;
- ПДУ напряженности электромагнитных полей высоковольтных линий электропередач;
- ПДУ облучения для источников высокочастотных (ВЧ), ультравысокочастотных (УВЧ) и сверхвысокочастотных (СВЧ) излучений;
- ПДУ радиационного воздействия, в том числе предельно допустимые дозы (ПДД) ионизирующих излучений, зависящие от категории населения А (персонал), Б (лица, которые не соприкасаются непосредственно с источниками излучения, однако по условиям работы или проживания могут подвергаться радиационному воздействию), В (остальное население);
- ПДУ теплового загрязнения, в том числе допустимый уровень отклонения температуры воды в естественных условиях.

10.4.2.2. Производственно-хозяйственные нормативы

Норматив предельно допустимого выброса (ПДВ). *Норматив предельно допустимого выброса* вредного вещества в атмосферу — это допустимая масса выброса вещества в единицу времени (г/с или т/г), создающая с учетом перспектив развития расположенных рядом предприятий и рассеивания вещества в атмосфере приземную концентрацию, не превышающую его ПДК для населения, растительного и животного мира, если нет иных, более жестких экологических требований или ограничений (с усреднением в любой 20-минутный период времени).

Система производственно-хозяйственного нормирования пока ориентирована на санитарно-гигиенические нормативы (см. разд. 10.4.2.1). Общеэкологические (или комплексные) нормативы ПДК — нормативы, ориентированные на реакцию наиболее чувствительных организмов биоценоза, а не только человека, являются значительно более жесткими. Повсеместная переориентация сложившейся системы нормирования на ПДК растительного (табл. 10.7) и животного мира вызовет значительно большие экологические и экономические ограничения хозяйственной деятельности, что в конце XX в. признавалось нерациональным и нереальным, но с принятием Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» существующий подход может быть вскоре изменен.

Таблица 10.7

Значения отечественных нормативов $ПДК^{атм.в}_{м.р}$ вредных веществ, установленные для разных организмов (по В. С. и Т. В. Николаевским, 1988)

Вещество	**Максимально разовая $ПДК^{атм.в}$, мг/м^3**		
	растения в целом	**древесные породы**	**человек**
Аммиак (NH_3)	0,05	**0,1**	0,2
Диоксид азота (NO_2)	**0,02**	0,04	0,085
Диоксид серы (SO_2)	0,02	0,03	0,5
Бензол (C_6H_6)	**0,1**	**ОД**	1,5
Сероводород (H_2S)	**0,02**	0,008	0,008
Хлор (Cl_2)	0,25	0,025	**ОД**
Метанол (CH_3OH)	**0,2**	ОД	**1,0**

В настоящее время норматив ПДВ устанавливается для:

- каждого источника загрязнения (рис. 10.11) отдельно;
- группы или совокупности источников загрязнения объекта (предприятия, промплощадки, населенного пункта и т. п.) в целом;
- каждого индивидуального вещества отдельно;
- каждой группы веществ, обладающих эффектом суммации [см. формулу (10.21)].

При этом исходят из требования, что максимальное содержание вредного вещества $C_м$ в любом месте приземного слоя атмосферы (0—2 м от поверхности Земли) с учетом его фоновой концентрации $C_ф$ не должно превышать нормы качества воздуха, т. е.

$$C_м + C_ф < ПДК. \qquad (10.23)$$

Метод расчета концентраций в атмосферном воздухе веществ *C*, содержащихся в выбросах предприятий, основан на модели рассеивания веществ в атмосфере, изложенной в «Общесоюзном нормативном документе ОНД-86». Модель учитывает состояние атмосферы (т. е. метеорологические условия) в месте расположения предприятия, характер местности (особенности рельефа), физические свойства выбросов, параметры источника выбросов и т. д.

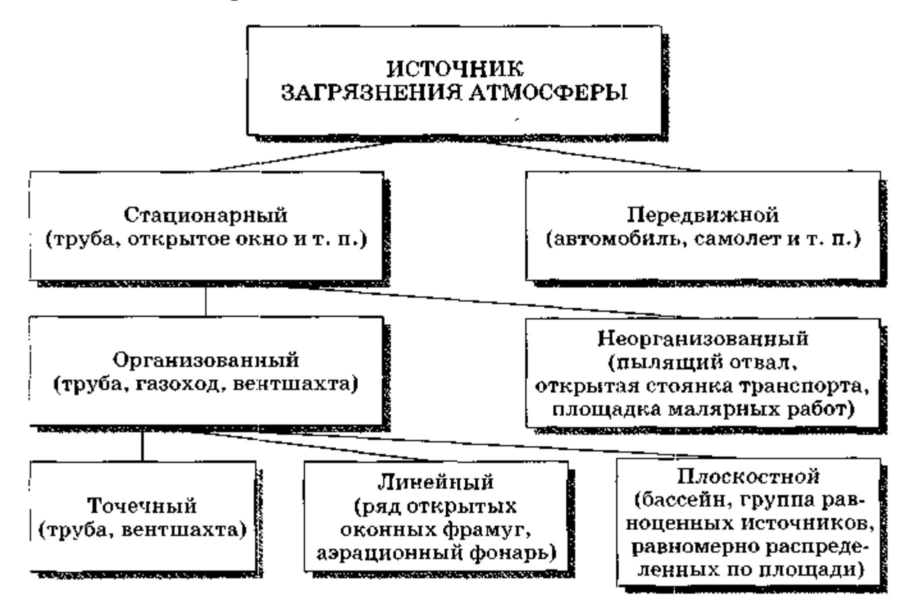


Рис. 10.11. Классификация источников загрязнения атмосферы

При выбросе газовоздушной смеси из одиночного источника с круглым устьем приземная концентрация вредного вещества C (мг/м^3) при неблагоприятных для рассеивания метеорологических условиях достигает максимального значения $C_м$ на расстоянии $X_м$ (м) от источника (рис. 10.12), которые определяются по формулам:

$$С. \quad \frac{AMPтпц\ ,}{H^2 3jv[AT} \qquad (10.24)$$

$$X. \quad 0{,}25(5-\ F)\ dH, \qquad (10.25)$$

где A — коэффициент, зависящий от температурной **стратификации**[1] атмосферы в данной географической местности (А=140—250); M — масса выбрасываемого вредного вещества в единицу времени, г/с; F — коэффициент, учитывающий ско-

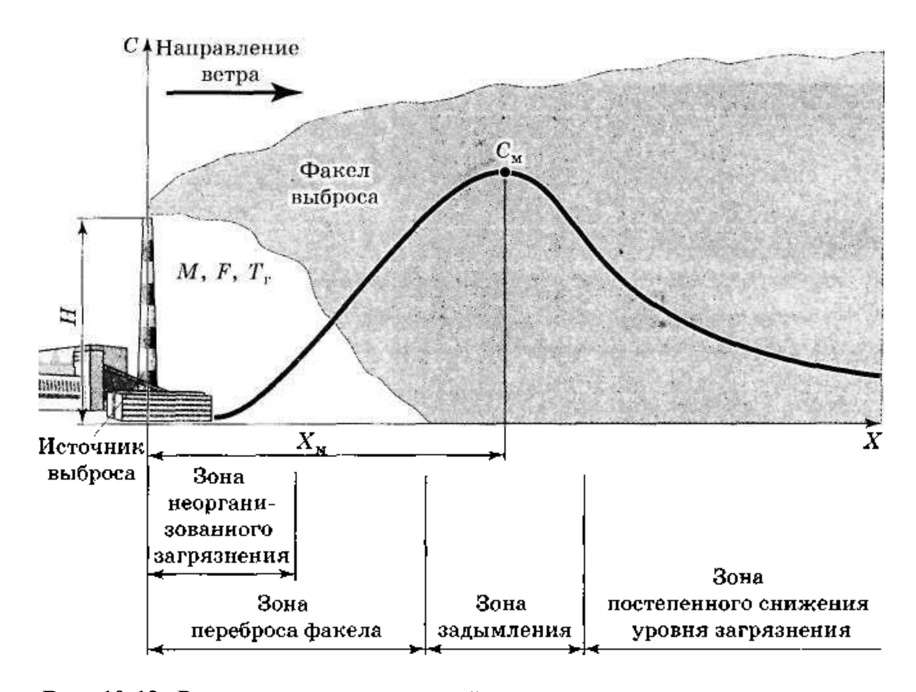


Рис. 10.12. Распределение приземной концентрации вредного вещества в атмосфере на оси факела выброса одиночного точечного источника (в виде трубы или вентиляционной шахты)

[1] Стратификация атмосферы — уменьшение температуры в нижней атмосфере с высотой. Средний градиент ее снижения в тропосфере — 0,6 °С на 100 м высоты.

рость оседания вещества в атмосфере *(F = 1 — для газов; F =* 2; 2,5; 3 — для аэрозолей в зависимости от степени их очистки перед выбросом); *m, n* — коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья трубы (определяются по формулам или графикам-номограммам методики ОНД-86); г) — коэффициент рельефа местности (для ровной и слабопересеченной местности л = 1); H — высота источника выброса над уровнем Земли, м; V_1 — объемный расход газовоздушной смеси, $м^3/с$; *AT* — разность температур выбрасываемой смеси и средней максимальной наружного воздуха в наиболее жаркий месяц года по данным многолетних наблюдений (по климатологическим справочникам), °С; *d* — безразмерный коэффициент (определяется по формулам методики ОНД-86).

Приземные концентрации вредного вещества C ($мг/м^3$) в атмосфере по оси факела выброса при неблагоприятных для рассеивания метеорологических условиях на различных расстояниях X (м) от источника выброса (рис. 10.13) определяются по формуле

$$C = S\ \hat{}\ , \qquad (10.26)$$

где S_x — безразмерый коэффициент, зависящий от отношения $X\ I\ X_ш$ и F (определяется по формулам или графикам-номограммам методики ОНД-86).

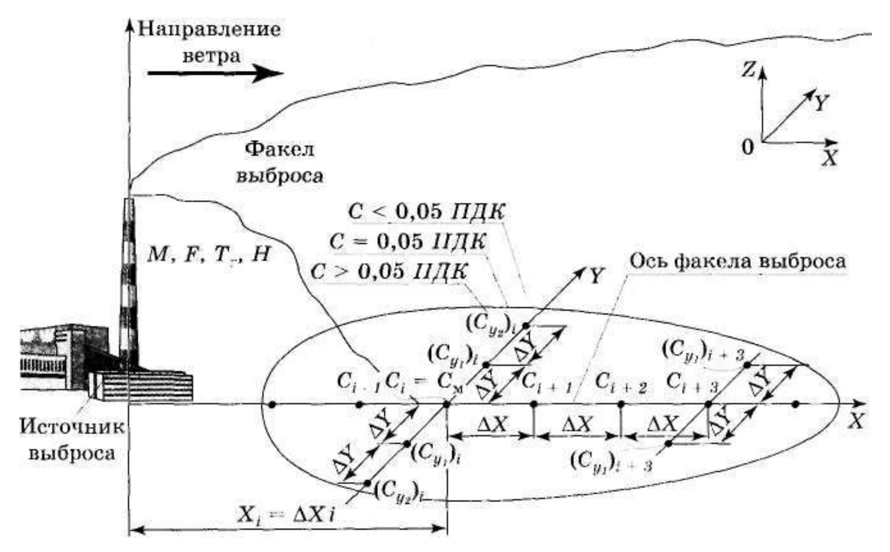


Рис. 10.13. Схема размещения расчетных точек при определении приземной концентрации вредного вещества в атмосфере под факелом выброса одиночного точечного источника

Приземная концентрация вредного вещества в атмосфере C (мг/м^3) на расстоянии У (м) по перпендикуляру (рис. 10.13) к оси факела выброса определяется по формуле:

$$C_y = S_2 C, \tag{10.27}$$

где S_2 — безразмерный коэффициент, зависящий от отношения Y/X и скорости ветра (определяется по формулам или графикам-номограммам методики ОНД-86).

Методика ОНД-86 позволяет также рассчитать вертикальное распределение концентрации C_z на различных высотах Z (м) над Землей.

Расчеты приземных концентраций вредного вещества для различных расстояний X и У выполняются с фиксированными шагами ЛХ и АУ (например, 20, 50, 100, 500 м и т. д.). При этом проводится последовательный перебор всех направлений ветра (обычно с шагом в 10°) и учитывается роза ветров для конкретной географической точки расположения источника загрязнения.

Поскольку расчет рассеивания загрязняющих (вредных) веществ, выбрасываемых промышленными (транспортными или иными) объектами в атмосферу достаточно объемен, он проводится на ЭВМ по одной из специально отобранных и аттестованных универсальных программ. Такими, в частности, являются специализированные программы экологических расчетов серий «Эколог» и «Гарант».

Результаты расчета получают отдельно для каждого вещества в виде таблиц и графического изображения (рис. 10.14) территории анализируемого объекта с окрестностями и с санитарно-защитной зоной, на котором нанесены изолинии равных расчетных концентраций вещества в приземном слое атмосферы, с учетом преобладающих направлений и наиболее неблагоприятных скоростей ветра.

Для каждого источника радиус зоны влияния рассчитывается как наименьшее из двух расстояний от источника X_1 и X_2, где Xj $= 10\ X_м$, а X_2 определяется как расстояние от источника, начиная с которого выполняется условие $C < 0{,}05 \cdot$ ПДК. За пределами зоны влияния расчеты не проводятся.

Если на границе нормативной СЗЗ предприятия выполняется условие

$$C = \text{ПДК}^{\text{атм.в}}_{\text{м.р}} - C_ф, \tag{10.28}$$

а на его территории — условие

$$C = 0{,}3 \cdot \text{ПДК}^{\text{раб.з}}_{\text{м.р}} - C_{\text{ф}}, \qquad (10.29)$$

то масса выброса M может быть квалифицирована как ПДВ.

Для одиночного источника ПДВ = M, а $C_{м}$ = (ПДК - С,), и формула (10.24) может быть преобразована в зависимость

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\text{ф}})H^2}{AFmn\eta}\sqrt[3]{V_1 \Delta T}. \qquad (10.30)$$

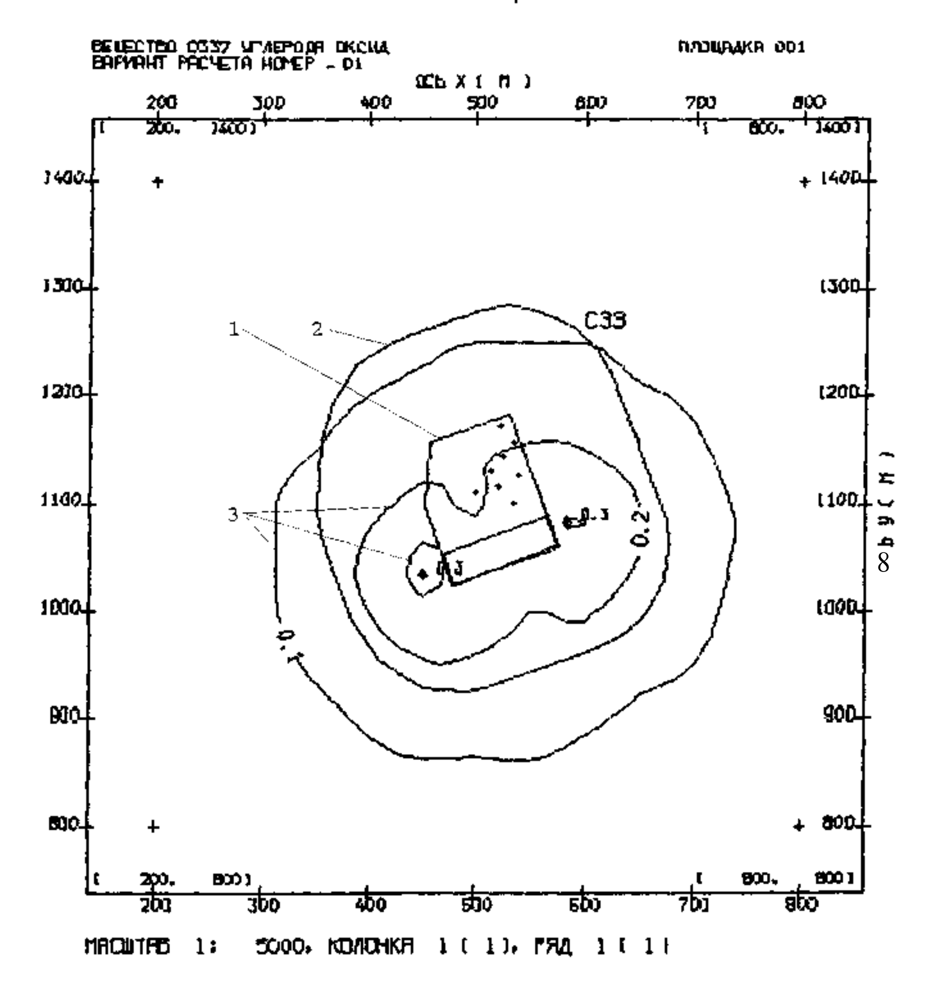


Рис. 10.14. Пример графической формы представления результатов расчета на ЭВМ приземной концентрации оксида углерода: *1* — граница территории; *2* — граница СЗЗ; *3* — изолинии равных приземных концентраций СО; *0,1; 0,2; 0,3* — (0,1; 0,2; 0,3) ПДК СО; + — источники выброса

Процесс рассеивания веществ в атмосфере зависит и от наличия в соответствующих местах крупных зданий и сооружений. Ветровой поток обтекает препятствия, а в образующихся зонах завихрений вещества могут скапливаться и оседать, поэтому у стен создаются зоны повышенной концентрации. В этих случаях говорят об образовании ветровых теней различных размеров и конфигураций (рис. 10.15).

При определенном соотношении высот здания и источника выброса в атмосферу, а также расстояния между ними застройка существенно влияет на результаты расчетов, поэтому ОНД-86 содержит специальную методику учета этого дополнительного фактора. Последние версии программ экологических расчетов серий «Эколог» и «Гарант» позволяют выполнить расчеты с учетом влияния застройки в виде одного — трех одиночно стоящих зданий (учесть влияние всего комплекса застройки на заданной территории с достаточной точностью пока не удается).

В случае, когда расчеты показывают, что при существующей мощности выброса в контрольных точках значение $C_м$ превышает ПДК, но по объективным причинам положение не может быть исправлено в короткий срок (порядка месяца), при этом предприятие (или его часть) не может быть ни остановлено, ни перепрофилировано, тогда используется метод поэтапного снижения выбросов вредных веществ. До 2002 г. существовало правило, в соответствии с которым на это время (до момента достижения условий, когда выброс может быть квалифицирован как допустимый), но не более чем на 3 года для источника (или для отдельного вещества), устанавливали норматив временно согласованного выброса (ВСВ) с соответствующими экономическими санкциями в виде значительно (в 25 раз) большей платы за выбросы в атмосферу (см. разд. 10.3).

Временно согласованный выброс, также как описанные далее лимиты и временно согласованный сброс, — явное, хотя и временное отступление от жестких принципов нормирования.

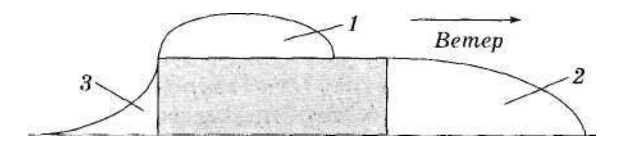


Рис. 10.15. Ветровые тени (застойные зоны) около зданий: *1* — на крыше (зона обтекания); *2* — подветренная (теневая зона); *3* — наветренная (зона подпора)

Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» введено новое положение (статья 23, п. 3), которое гласит, что *«...при невозможности соблюдения нормативов допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов могут устанавливаться лимиты на выбросы и сбросы на основе разрешений, действующих только в период проведения мероприятия по охране окружающей среды, внедрения наилучших существующих технологий и (или) реализации других природоохранных проектов, с учетом поэтапного достижения установленных нормативов выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов».* Таким образом, термины ВСВ и ВСС заменяются термином «лимит на выброс и сброс веществ», что соответствует терминологии, уже несколько лет применяющейся при расчетах платежей за загрязнение природной среды (см. разд. **10.3.4).**

Норматив предельно допустимого сброса (ПДС). Норматив предельно допустимого сброса загрязняющего вещества в поверхностный водоем — это максимально допустимая масса вещества в воде, возвращаемой в водный объект в данном его пункте в единицу времени, при которой не происходит нарушение (превышение) норм качества воды в контрольном **створе**[1]**.**

Для водотока (рис. 10.16, *а)* контрольный створ (вертикальное сечение) должен быть отдален с достаточным запасом от места непосредственного водопользования (места забора воды 'для водоснабжения, купания, организованного отдыха, территории населенного пункта и т. п.). Он должен отстоять вверх по течению на расстоянии 500 м для рыбохозяйственного назначения; **1000** м для нужд населения.

Для непроточного водоема (рис. 10.16, *б)* вода в контрольной зоне должна соответствовать нормативам качества в радиусе 1000 м от пункта водопользования.

Предельно допустимый сброс — расчетный научно-технический норматив, величина которого устанавливается отдельно для каждого вещества с учетом **фоновой**[2] **концентрации,**

[1] Створ (применительно к водному объекту) — участок водоема или водотока, отвечающий определенным, наперед заданным требованиям.

[2] Фоновая концентрация вещества характеризует его присутствие в створе водного объекта, в данном случае непосредственно перед местом сброса. Она свидетельствует о влиянии всех источников сброса вещества, без учета того, для которого производится расчет ПДС.

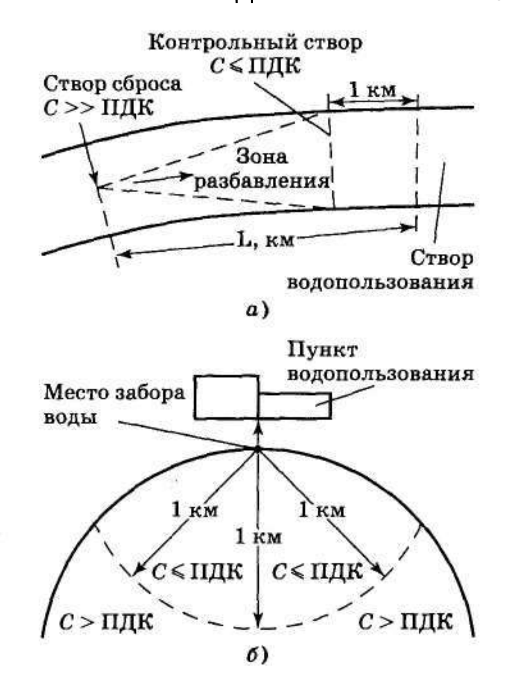


Рис. 10.16. Схемы расположения контрольного створа в водотоке (а) и контрольной зоны в непроточном водоеме *(б)* при нормировании содержания загрязняющих веществ в воде (по *Г. В. Стадницкому* и *А. И. Родионову)*

норм качества воды (в зависимости от вида водопользования) и **ассимиляционной**[1] **способности** водного объекта. Наиболее верным подходом к установлению нормативов ПДС является бассейновый принцип, согласно которому решать задачу ограничения сброса загрязняющих веществ необходимо с учетом загрязнения всей совокупности водных объектов, формирующих единый бассейн реки, озера, моря. Таким образом, норматив ПДС должен быть установлен для бассейна в целом, а конкретным предприятиям следует выделять дифференцированные квоты.

Вещества, загрязняющие сточные воды, попадая в природные водные объекты и взаимодействуя друг с другом, образуют новые соединения, нередко более токсичные, чем исходные.

[1] Ассимиляционная способность способность объекта к «самоочищению».

Особенно плохо то, что при подобных трансформациях[1] получаются вещества, не поддающиеся не только количественной оценке, но и идентификации (качественному определению).

Трансформация веществ происходит как в химических, так и в биологических процессах, при этом в водном объекте резко сокращается количество растворенного кислорода, что ведет к нежелательным процессам, в том числе к гибели рыбы.

В соответствии с материальным балансом процесса смешения в водотоке основное расчетное уравнение в общем случае имеет вид

$$яC_{ст\cdot в}+уЯC_{ф} = \{д + уЯ)C_{кст}, \qquad (10.31)$$

где q и Q — расход сточных вод и расход воды в водном объекте; ^ст в' ^к ст' ^Ф — концентрации вещества в сточных водах, контрольном створе и фоновая; y — коэффициент смешения — интегральный показатель, учитывающий особенности водотока.

При заданных и известных характеристиках водотока для прогноза его санитарного состояния в контрольном створе достаточно уравнение (10.31) преобразовать в следующий вид:

с , . „ = % ^ . (Ю.32,

Если рассчитанная концентрация £-й примеси в контрольном створе не превышает ПДК, т. е. C_i = $ПДК_;$, то ситуация признается допустимой; если C_t > $ПДК_;$, сброс таких вод недопустим и требуется снижение интенсивности сброса (очистка или уменьшение количества стоков).

При предварительном выборе места выпуска сточных вод в водный объект одним из показателей допустимости того или иного решения является степень разбавления сточных вод, достигаемая у ближайшего пункта водопользования. Она называется «кратностью разбавления» n и вычисляется по формулам:

в контрольном створе водотока

$$n = (7Q + q)/q; \qquad (10.33)$$

[1] Одним из наиболее безобидных является следующий пример. Азотосодержащие вещества, присутствующие в сточных водах, последовательно трансформируются по схеме: азот растворенного органического вещества (РОВ) под воздействием бактерий *Heterotrophs* превращается в NH_4, который бактериями *Nitrosomonas* переводится в $N0_2$, а далее бактериями *Nitrosobacter* — в NOg. Последний потребляется в звене пищевой цепи совместно с азотом РОВ, что замыкает часть естественного круговорота азота, и т. д. (см. также 6.3.1).

в контрольной зоне непроточного водоема

$$n = \frac{C_{\text{ст.в}} - \text{ПДК}}{\text{ПДК} - C_{\text{ф}}} \qquad (10.34)$$

Зная (либо задавая) величину кратности разбавления, можно рассчитать максимально допустимую концентрацию вещества в сточных водах по формуле

$$C^{\text{доп}}_{\text{ст.в}} = (n - 1)(\text{ПДК} - C_{\text{ф}}) + \text{ПДК}. \qquad (10.35)$$

Допустимая масса *1-го* загрязняющего вещества в воде (в г/с), сбрасываемого в водоток, определяется по формуле

$$\text{ПДС}_i = qC_{\text{ПДС}i}, \qquad (10.36)$$

где $С_{\text{п}}д_{\text{с}/}$ — допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточной воде, г/м^3.

В свою очередь максимально допустимая концентрация вещества в стоках, по одной из принятых для водотоков методик, рассчитывается по следующим формулам:

$$C_{\text{ПДС}} = n(\text{ПДК}e^{kt} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}; \qquad (10.37)$$

$$n = Q/q, \qquad (10.38)$$

где *h* — коэффициент, характеризующий степень разрушения примеси в воде, 1/сут; *t* — время добегания сточных вод от места выпуска до контрольного створа, сут.

При сбросе сточных вод в непроточный водоем (озеро, водохранилище и т. п.) считается, что полное их разбавление ($д_{\text{полн}}$) — это результат начального разбавления ($/г_{\text{нач}}$), происходящего рядом с местом выпуска воды, за счет скорости и турбулентности струи и основного ($л_{\text{осн}}$) разбавления за счет диффузии:

$$n_{\text{полн}} = n_{\text{нач}}\, n_{\text{осн}}. \qquad (10.39)$$

Дальнейший расчет производят по дополнительным формулам и графикам-номограммам нормативных документов, не рассматриваемым здесь.

Выполнение требований нормативов ПДС достигается за счет различных специальных инженерно-технических мероприятий, в число которых входят оборотное водоснабжение, очистка, обезвреживание и обеззараживание сточных вод и т. п., причем чем выше предъявляемые требования, тем дороже необходимые мероприятия.

Стремление оптимизировать весьма дорогостоящие водоохранные мероприятия ведет к тому, что прежде всего используются естественные резервы водных экосистем — их способность рассеивать и ассимилировать вредные вещества, так называемая способность «самоочищения» водоемов. Заботы при таком подходе сводятся к обеспечению степени разбавления стоков, достаточной для достижения показателей качества воды в местах или створах ее использования, поскольку, согласно действующим правилам, санитарно-гигиенические требования к качеству воды не относятся ко всей акватории водного объекта.

Фактически при любом варианте разбавления загрязненных сточных вод цели охраны ОС от загрязнения не достигаются.

Необходимую степень очистки (л.) сточных вод определяют как

$$\eta = \frac{(C_{\text{факт}} - C_{\text{ст.в}}^{\text{доп}})}{C_{\text{факт}}} 100\% . \qquad (10.40)$$

Чем выше расчетное значение необходимой кратности разбавления и (или) ниже допустимая концентрация вещества в стоках, тем сложнее и дороже технические мероприятия для их достижения. При проектировании и обосновании строительства новых объектов это серьезный довод для поиска иного района размещения с более благоприятными гидрологическими условиями.

При сбросе сточной воды в черте населенного пункта к содержанию в ней г-й примеси предъявляют такие же нормативные требования, что и к воде самого водного объекта, а именно

$$\text{ПДС}, < \text{ПДК}_{/9}. \qquad (10.41)$$

Столь жесткое требование предъявляется к водным объектам и при условии Сф^ > ПДК..

В случае когда на уже действующем предприятии невозможно быстро снизить до рассчитанного значения ПДС интенсивность сброса в водоем какого-либо загрязняющего вещества, то разрабатывается план мероприятий поэтапного снижения сбросов, а на время его реализации устанавливается норматив *временно согласованного сброса* (ВСС).

Как отмечалось выше, ВСС, по сути, является прямым нарушением жестких принципов нормирования, поэтому

для проектируемых или еще только строящихся предприятии устанавливать нормативы ВСС запрещено.

Помимо запрета сбрасывать сточную воду, в которой загрязняющие вещества содержатся с недопустимо высокими концентрациями, в водные объекты также не разрешается сброс «условно чистой» воды в следующих случаях:

- при содержании в ней вредных веществ, для которых не установлены значения ПДК;
- при содержании в ней ценных отходов, которые могут быть утилизированы;
- при возможности ее повторного использования;
- при возможности использования для орошения.

Нормативы образования отходов производства и потребления и лимитов на размещение отходов (ЛРО) на территории объекта (предприятия). Оценка количества образующихся отходов проводится двумя методами: 1) по материальному балансу; 2) по удельным показателям. В первом случае при устойчивых повторяющихся данных баланса между используемым сырьем и получаемой по определенной технологии продукцией суммарная масса *n* видов отходов $Q^{отх}$ определяется как

$$\sum Q_n^{отх} = \sum M_i^{с} - \sum M_j^{пр}, \qquad (10.42)$$

где $M^с$ — масса сырья /типа; $M^{пр}$ — масса продуктов /го типа.

По второму методу проводится косвенный расчет с использованием сведений о потреблении сырья (или выпуске продукции), а также удельных показателей (нормативов) образования отходов по одной из следующих формул:

$$\sum Q_n^{отх} = \sum (k_i M_i^{с}); \qquad \mathbf{(10.43)}$$

$$\sum Q_n^{отх} = \sum (k_j M_j^{пр}), \qquad \mathbf{(10.44)}$$

где k_t — удельный показатель образования отхода п-го вида в расчете на единицу потребляемого сырья г-го типа.

Хотя первый метод более точен, второй более удобен на практике.

Лимит на размещение отходов — предельно допустимое количество отходов конкретного вида, которое разрешается размещать определенным способом на определенный срок в объектах размещения отходов с учетом экологической обстановки на данной территории (ст. 1 Закона от 24.06.98 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления»).

Размеры накопления токсичных отходов на территории предприятия связаны с площадью территории складирования,

токсичностью и химической активностью соединений, входящих в состав отходов. Принципы данного нормирования зависят от почвенных и климатических условий в конкретном регионе.

Обычно устанавливают нормативы:

- предельного количества временного хранения отходов на территории предприятия;
- предельного содержания токсичных соединений в промышленных отходах.

Лимиты на размещение отходов устанавливают в соответствии с нормативами предельно допустимых вредных воздействий на ОС. Так, предельное количество отходов на территории — это такое их количество, которое, в частности, можно разместить при условии, что возможное выделение вредных веществ в воздух не превысит 30% от $ПДК^{раб}$-[3]. Предел (лимит) накопления отходов по данному критерию определяют инструментальными измерениями концентрации вредных веществ в воздухе.

Наиболее опасные вещества, даже хранимые в герметичной таре, так же как и токсичные отходы очистных сооружений, должны быть удалены с территории предприятия в течение суток. Деятельность по обращению с опасными отходами подлежит лицензированию.

Содержание токсичных соединений (в г/кг или мг/кг) в отходах, значения их летальных **доз**[1], растворимость, летучесть и ряд других промежуточных показателей влияют на класс опасности отходов, который определяют одним из следующих способов:

- экспериментально по результатам замеров, проводимых в течение достаточно ограниченного времени (6 мес);

[1] Доза — количество ядовитого вещества, поступившего в организм, соотнесенное с массой его тела, мг/кг. Летальная доза — концентрация (количество), которая вызывает отравление, заканчивающееся смертью животного. Наиболее объективную оценку токсичности, позволяющую сравнивать разные вещества, дает значение дозы, вызывающей гибель половины (50%) всех подопытных организмов при вдыхании (пероральное введение) или при нанесении на кожу — $ЛД_{50}$. В специальной литературе и нормативных документах иногда используются обозначения DL_{50} и CL_{50} — средняя смертельная концентрация ксенобиотика (чужеродное для организма соединение; например, пестицид) при ингаляционном поступлении или в воде для гидробионтов (организмов водных экосистем).

- экспериментально по результатам длительного модельного опыта с элементами мониторинга;
- расчетом, основанном на наличие предварительно установленного значения $ПДК^{почвы}$;
- расчетом, основанным на иных исходных показателях при отсутствии значения $ПДК^{почвы}$.

Все виды отходов производства потребления и быта (металлолом, макулатура, древесные отходы, ветошь, ртутьсодержащие люминесцентные лампы и т. п.) разделены на четыре класса[1] опасности, для которых разработаны нормативы образования и размещения на территории предприятий, а также существуют стандартизованные рекомендации по оборудованию мест хранения, сроков и правил вывоза (транспортировки) на специализированные предприятия для их дальнейшей переработки, обезвреживания и захоронения.

В России создан и ведется государственный реестр объектов размещения отходов — составная часть государственного кадастра отходов. В соответствии со ст. 51, п. 2 Закона «Об охране ОС» и ст. 17 Закона «Об отходах производства и потребления»

> ввоз опасных отходов и радиоактивных отходов на территорию Российской Федерации в целях захоронения и обезвреживания *запрещается.*

Такой запрет действовал еще с момента принятия Закона РСФСР от 19.12.91 № 2060-1 «Об охране окружающей природной среды», однако после длительной дискуссии в 2000—2001 гг. новый Федеральный закон от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» был принят в редакции, включающей ст. 48 п. 4, которая при определенных условиях и с учетом экономических интересов нашей страны разрешает *«...ввоз в Российскую Федерацию из иностранных государств облученных тепловыделяющих сборок ядерных реакторов для осуществления временного технологического хранения и (или) их переработки... принимая во внимание приоритетность права возвратить образовавшиеся после переработки радиоактивные отходы в государство происхождения ядерных материалов...».*

[1] I класс — чрезвычайно опасные вещества (отходы); II класс — высоко опасные; III класс — умеренно опасные; IV класс — мало опасные вещества.

Порядок и условия трансграничного перемещения отходов регулируются Базельской конвенцией, ратифицированной нашей страной Федеральным законом от 25.11.94 № **49-ФЗ.**

Технические и технологические нормативы выброса загрязняющих веществ. Эти нормативы являются достаточно новыми в практике отечественного нормирования, они введены Федеральными законами от 04.05.99 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» и от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (см. также разд. **10.1.7).**

Нормативы допустимого изъятия компонентов природной среды. Они устанавливаются для ограничения из изъятия в целях сохранения природных и природно-антропогенных объектов, обеспечения устойчивого функционирования естественных экологических систем и предотвращения их деградации.

Предельно допустимые нормы применения агрохимикатов в сельском хозяйстве. Эти нормы устанавливаются для минеральных удобрений, средств защиты растений, стимуляторов роста и им подобных химических веществ в дозах, обеспечивающих соблюдение нормативов предельно допустимых остаточных количеств химических веществ в продуктах питания (ПДК$^{\text{прпит}}$), охрану здоровья, сохранение генофонда человека, растительного и животного мира.

10.4.2.3. Комплексные нормативы

Рассмотренные выше нормативы в основном базируются на санитарно-гигиенических принципах нормирования, т. е. ограничивают антропогенное воздействие на ОС, исходя прежде всего из результатов анализа особенностей действия на организм человека. Это ведет не к полноценной охране Природы, а лишь к сохранению отдельных (хотя уже в наши дни и достаточно многочисленных) характеристик среды в непосредственном окружении Человека.

Например, фенолы, ионы металлов и некоторые другие химические вещества и соединения, присутствуя в водной экосистеме даже в количествах, не превышающих значений ПДК, могут изменять физико-химические свойства воды и влиять на планктон и бентос. Такое загрязнение воды не опасно для человека, но оно может нарушить пищевые цепи, подавив их отдельные звенья, в частности микроорганизмы-деструкторы. Поэтому уровень допустимого воздействия на ОС (биосферу)

должен устанавливаться, исходя из реакции самых чувствительных представителей экосистемы в воздухе, воде и почве, с учетом «вторичных» и последующих эффектов вплоть до реакции системы в целом. При этом определяющим фактором может оказаться не первоначальная концентрация вещества, а его накопление, сопровождающееся различными трансформациями в звеньях экосистем. В итоге должны оцениваться результаты комплексного одновременного действия разнообразных факторов.

Из сказанного следует, что регулирование качества природной среды необходимо начинать с определения уровней нагрузок, допустимых с экологических позиций, а региональное природопользование должно быть ограничено экологической «выносливостью» соответствующей территории. Общество должно контролировать все стороны своего развития так, чтобы совокупная антропогенная нагрузка на природную среду не превышала потенциала ее самовосстановления.

Нормативы допустимой антропогенной нагрузки (НДАН) на ОС. Их устанавливают по каждому виду воздействия хозяйственной и иной деятельности на ОС, а также по совокупному воздействию всех стационарных, передвижных и других источников, расположенных в пределах конкретных территорий и (или) акваторий с учетом их природных особенностей. Эти нормативы применяют при формировании территориально-производственных комплексов, развитии промышленности, сельского хозяйства, строительстве и реконструкции городов, иных населенных пунктов. Целью является обеспечение благоприятных условий жизни людей при недопущении необратимых изменений естественных экологических систем или иначе — рациональное сочетание хозяйственной и иной деятельности по использованию природных ресурсов с охраной природы.

Для определения таких нагрузок необходимы достоверные сведения о потенциальной способности ОС перенести ту или иную величину суммарного антропогенного воздействия, т. е. нужно знать емкость природной среды (см. разд. 4.4.2).

Установлено, что стабильность среды обитания растительного и животного мира (включая среду обитания человека) определяется:

- массой живого органического вещества и его основной частью — фитомассой (древесиной, листьями, травами и т. п.). Чем больше эта масса, тем стабильнее среда. Ос-

новную роль в обеспечении стабильности играют фотосинтезирующие организмы — первоисточник биомассы и регулятор состава атмосферы;

- способностью быстро восстанавливаться после внешнего (природного или антропогенного) нарушения, зависящей от эффективности образования продукции растительного покрова при вторичной сукцессии (см. разд. 6.3.3);
- числом комбинаций элементов экосистемы, которые она может создать в качестве реакции на внешнее воздействие, зависящее от ее структурного и видового разнообразия. В свою очередь структурное разнообразие может быть оценено сравнением запасов фитомассы и зоомассы.

Следовательно, оценка общей устойчивости экосистем к антропогенным воздействиям определяется тремя показателями:

- запасами живого и мертвого органического вещества;
- эффективностью образования органического вещества или продукции растительного покрова;
- видовым и структурным разнообразием.

Существуют региональные и отраслевые НДАН.

Региональные НДАН. Они учитывают хозяйственную или рекреационную нагрузку на природные комплексы. В частности, разработаны НДАН воздействия на экосистемы озера Байкал.

Игнорирование НДАН на ОС ведет к серьезным и очевидным ошибкам, исправить которые крайне затруднительно. Пренебрежение объективными удельными нормами выпаса скота в Калмыкии послужило причиной известного опустынивания земель на большой площади. Избыток промышленных предприятий в таких городах, как Кемерово, Уфа, Стерлитамак, привел к тяжелым экологическим последствиям в ОС и резко ухудшил здоровье населения этих регионов.

К сожалению, действующее законодательство не предусматривает какой-либо ответственности за нарушение НДАН на ОС. Результаты таких ошибок распространяются на все общество.

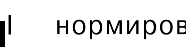
Отраслевые НДАН. Они применяются к отдельным природным ресурсам. Так, ограничивается численность:

- людей в лесу (12—15 чел./1 га);
- посетителей в заповедниках и в национальных парках;

- охотников на единицу охотничьих угодий или на определенное число диких животных;
- диких копытных животных на единицу площади охотничьих угодий;
- домашнего скота на единицу пастбищных угодий.

Большое внимание уделяется разработке методов интегральной оценки качества среды, основанных на принципах биоиндикации (см. разд. 3.5) и биотестирования.

Таким образом,



нормирование — основной экологический рычаг регулирования негативного воздействия человека на ОС.

Нормативы защитных и охранных зон. Защитные и охранные зоны устанавливают для:

- обеспечения устойчивого функционирования естественных экосистем, защиты природных комплексов, природных ландшафтов и особо охраняемых природных территорий от загрязнения и иного негативного воздействия;
- охраны условий жизнедеятельности человека, среды обитания растений, животных и других организмов.

В настоящее время в нашей стране существуют разнообразные защитные и охранные зоны.

Санитарно-защитная зона (СЗЗ). Это пространство между границей территории (промплощадки) предприятия и жилой или ландшафтно-рекреационной, или курортной, зоной либо зоной отдыха. Она создается при градостроительстве и развитии иных населенных пунктов в качестве санитарно-защитного и эстетического барьера, препятствующего вредному воздействию на человека и ОС. Для групп предприятий или промышленного узла с учетом суммарных воздействий всех источников единым проектом устанавливается единая СЗЗ.

Для объектов, являющихся источниками воздействия на ОС и здоровье человека, в зависимости от их мощности, условий эксплуатации, характера и количеств выбрасываемых в окружающую среду веществ, создаваемого шума, вибрации и иных вредных физических факторов, при условии соблюдения требований гигиенических нормативов, а также в соответствии с санитарной классификацией предприятий производств и объектов в «Санитарно-гигиенических правилах и нормативах (СанПиН) 2.2.1/2.2.1.984-00», установлены минимальные

размеры СЗЗ. Для предприятий I—V классов[1] это соответственно 1000,500,300,100 и 50 м.

В границах СЗЗ *допускается* размещать:

- сельхозугодья для выращивания технических культур;
- предприятия, их здания и сооружения меньшего класса опасности, чем основное производство;
- здания управления, конструкторские бюро, лаборатории, пожарные депо, гаражи, автозаправочные станции, стоянки автомобилей, бани, прачечные, связанные с обслуживанием данного объекта;
- нежилые помещения для дежурного аварийного персонала и охраны, линии электропередач (ЛЭП), электроподстанции, сооружения для подготовки технической воды, питомники растений для озеленения и т. п.

Однако в границах всех СЗЗ *не допускается* размещать:

- предприятия пищевой промышленности, производства питьевой воды и напитков, склады готовой пищевой продукции, комплексы водопроводных сооружений для подготовки и хранения питьевой воды;
- спортивные сооружения, парки, образовательные учреждения, лечебно-профилактические и оздоровительные учреждения общего пользования;
- коллективные или индивидуальные дачные и садово-огородные участки.

В то же время в границах СЗЗ воздушных ЛЭП *не допускается* размещать:

- жилые и общественные здания и сооружения;
- места стоянки и остановки всех видов транспорта;
- предприятия по обслуживанию автомобилей;
- склады нефти и нефтепродуктов.

Размеры СЗЗ могут быть изменены. *Причинами увеличения* размера СЗЗ или создания индивидуальных зон для отдельных предприятий и комплексов сверх установленных размеров могут быть:

- наличие новых, недостаточно изученных технологий, не имеющих отечественных и зарубежных аналогов;
- превышение уровня воздействия по любому фактору за установленными пределами СЗЗ, подтвержденное мате-

[1] Класс предприятия определяется количеством и характером токсичных выбросов, уровнем интенсивности физических факторов, объемом природоохранных мероприятий и т. п.

риалами лабораторного контроля, и отсутствие реальной возможности снизить уровень загрязнения с помощью технических средств.

Причинами уменьшения размера СЗЗ может быть:

- объективное доказательство стабильно низкого уровня техногенного (как химического, так и физического) воздействия на ОС с не менее чем годовыми данными регулярных лабораторных измерений;
- уменьшение мощности или перепрофилирование объекта, влекущее изменение класса опасности.

Предприятия IV и V классов, не требующие железнодорожных путей и интенсивного движения грузового транспорта, допускается размещать в пределах жилой зоны, хотя преимущество следует отдавать территориям, наиболее удаленным от жилых зданий.

Санитарно-защитные зоны ядерных объектов и зоны наблюдения. Эти зоны предусмотрены ст. 31 Федерального закона от 21.11.95 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии». Они устанавливаются в целях защиты населения в районе размещения ядерной установки, радиационного источника или пункта хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ.

В границах таких СЗЗ *допускается* размещать лечебно-оздоровительные учреждения, пункты общественного питания, подсобные и другие сооружения, необходимые для функционирования объекта.

Однако в границах таких СЗЗ *не допускается* размещать:

- жилые и общественные здания и сооружения;
- детские учреждения;
- учреждения и объекты, не относящиеся к функционированию основного объекта.

На граждан, находящихся на территории как названных объектов, так и их СЗЗ, распространяется действие мер по социально-экономической компенсации за дополнительные факторы риска, а также мер по аварийному планированию.

Водоохранная зона (ВЗ). К ней относится территория, примыкающая к акватории рек, озер, водохранилищ и иных поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, засорения, заиления и истощения водных объектов животного и растительного мира.

Размеры и границы ВЗ, а также режим их использования устанавливаются, исходя из физико-географических, почвенных, гидрологических и прочих условий.

В границах ВЗ *запрещается:*

- проведение авиационно-химических работ;
- применение химических средств борьбы с вредителями;
- размещение животноводческих комплексов и ферм;
- размещение складов с ядохимикатами, минеральными удобрениями, горюче-смазочными материалами;
- складирование и захоронение отходов и т. п.

Зоны санитарной охраны (ЗСО) Они предусматриваются на всех местах забора воды (водозаборов) как подземных, так и поверхностных вод с целью обеспечения их санитарно-эпидемиологической надежности. Каждая ЗСО состоит из трех поясов.

- Первый пояс — строгого режима — предотвращает случайное загрязнение вод непосредственно в устройствах забора воды и охватывает территорию, на которой расположены водоприемники, колодцы, насосные станции, установки для обработки воды и резервуары. Планировка территории этого пояса выполняется так, чтобы поверхностный сток отводился за ее пределы. Территория первого пояса обычно передается в ведение водопроводного предприятия, которое ограждает ее, ведет постоянные наблюдения и обеспечивает необходимый санитарный режим.
- Второй пояс защищает воду в месте водозабора от микробиологического загрязнения. Выполняемые для этого расчеты размеров зоны учитывают, в частности, время продвижения микробов, которое в зависимости от степени защищенности подземных вод и климатических особенностей района составляет 100—400 сут.
- Третий пояс защищает место водозабора от химического загрязнения. Расчеты, учитывающие скорость движения химических веществ в земных слоях, должны подтвердить, что время продвижения загрязнений будет больше расчетного срока службы водозабора, но не меньше 25 лет.

Новый Федеральный закон от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», сменивший Закон РСФСР от 19.12.91 № 2060-1 «Об охране окружающей природной среды», внес ряд изменений в подходы к нормированию в области охраны ОС,

поэтому действующая в нашей стране система нормирования в ближайшее время должна быть приведена в соответствие с требованиями нового закона.

10.4.3. Оценка воздействия на окружающую среду

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) — процедура учета экологических требований законодательства при подготовке и принятии решений о социально-экономическом развитии общества. Она дополняет технические, экономические, социально-политические оценки предполагаемых решений.

В процессе проведения ОВОС компетентные власти и общественность рассматривают и изучают все возможные для ОС последствия крупных решений, предлагаемых к реализации. Оценка заканчивается тем или иным решением властей о лицензировании такой деятельности. Инициатором процедуры ОВОС может быть любая общественная, частная и государственная организации.

ОВОС — главное правовое средство обеспечения учета и выполнения экологических требований на стадии подготовки некоего хозяйственного решения.

Впервые оценка воздействия на ОС была применена в практике природоохранной деятельности США, затем, преимущественно в 70-е годы XX в., она распространилась на все экономически развитые страны мира. В России ОВОС стала проводиться в начале 90-х годов XX в., а с 2002 г. требование проведения такой оценки было закреплено ст. 32 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС».

Проектные и (или) иные решения, содержащиеся в документации, обосновывающей некую намечаемую деятельность, должны быть разработаны с учетом различного рода возможных последствий ее реализации в рамках инфраструктуры региона. В частности, проводится поиск новых областей применения отходов будущего предприятия в качестве сырья для какого-либо другого экономически выгодного производства.

Оценку возможных решений следует давать на наиболее ранних этапах разработки проектного замысла.

Оценка воздействия на окружающую среду рассматривает влияние предлагаемых к принятию решений на:

- качество воздушной, водной и почвенной среды;
- радиационную безопасность;
- здоровье людей;
- экосистемы и отдельные виды растений и животных;
- здания, памятники и прочие объекты, являющиеся частью культурного наследия, и т. д.

Важно в первую очередь определить наличие особой чувствительности территории к внешнему воздействию. Так, в городах это состояние воздушной среды, в зоне вечной мерзлоты — температурный режим, в оползневых районах — гидродинамическая напряженность склонов и т. п.

Смысл проведения ОВОС заключается во всестороннем учете экологических интересов общества при принятии решений по конкретным проектам как на новую деятельность, так и на изменение уже осуществляющейся деятельности. Безусловно, общество заинтересовано в предупреждении экологического вреда любого масштаба и ОВОС необходима при планировании всякой деятельности. Однако практика показала, что полноценная оценка, предусмотренная Положением об ОВОС, — это трудоемкая и дорогостоящая процедура.

Обеспечить проверку экологической рациональности ряда малоопасных для ОС предложений можно и более простыми методами. Поэтому ОВОС организуется и проводится при подготовке следующих видов обосновывающей документации:

- концепций, программ, а также планов отраслевого и территориального социально-экономического развития;
- схем комплексного использования и охраны природных ресурсов;
- градостроительной документации;
- документов по созданию новой техники, технологии, материалов и веществ;
- предпроектных обоснований инвестиций в строительство, технико-экономических обоснований (ТЭО) и (или) проектов строительства, реконструкции, расширения и технического перевооружения действующих объектов и комплексов.

В первую очередь ОВОС проводится для крупных и потенциально опасных объектов:

- добывающих, нефтеперерабатывающих, металлургических и химических (всех видов) предприятий;
- крупных энергетических объектов, плотин;

- АЭС, объектов, широко использующих источники радиации, ядерные технологии, а также перерабатывающих и утилизирующих радиоактивные отходы;
- военных объектов;
- космодромов, аэродромов, аэропортов, портов, судоверфей;
- транспортных объектов, включая дороги, автострады, трассы магистральных железных дорог, нефте- и газопроводы, метрополитены;
- перерабатывающих предприятий и полигонов для отходов производства, потребления и быта;
- хозяйственных объектов на особо охраняемых территориях, не связанные с обслуживанием этих территорий.

Положением об ОВОС предусмотрено, что при проведении этой процедуры заказчик обязан рассмотреть все разумные и реальные альтернативы достижения целей намечаемой деятельности, включая даже «нулевой» вариант, т. е. отказ от намечаемой деятельности. Действительно, всегда ли оправдано строительство нового объекта? Вполне возможно, что цель будет достигнута путем повышения эффективности производства на существующих предприятиях.

Одним из ключевых вопросов является обеспечение экологической безопасности, в том числе решение задач локализации и ликвидации последствий возможных аварий и катастроф. Для особо опасных производств должны быть проведены специальные оценки риска аварий различного масштаба. В любом случае оценивается возможное воздействие на сопредельные территории (государств, территорий, регионов).

Поскольку, по Положению, ОВОС проводится заказчиком, т. е. явно заинтересованным лицом, то вполне возможен субъективный подход. Поэтому в качестве гарантии всестороннего и полноценного учета требований экологического законодательства в процедуре ОВОС предусмотрено обязательное участие общественных объединений, мнение которых вполне может не совпадать с позицией инвестора.

10.4.4. Экологическая экспертиза

Экологическая экспертиза — «установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям и определение допустимости реализации объекта экологической экспертизы» (ст. 1 Федерального закона «Об экологической экспертизе» от 23.11.95 № 174-ФЗ).

Цель экологической экспертизы — определить соответствие планируемой деятельности (хозяйственная или иная) действующим требованиям в области охраны окружающей среды и тем самым предупредить возможные неблагоприятные последствия. Экологическая экспертиза логически продолжает оценку воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую' среду (ОВОС), описанную выше, причем задача государственной экологической экспертизы — гарантировать, что в процессе ОВОС действительно предусмотрены все необходимые меры по охране ОС, требуемые современным экологическим законодательством.

В определенной мере экологическая экспертиза — это форма контроля, направленного на предотвращение загрязнения ОС, причем такое предупреждающее действие обходится в 4—5 раз дешевле, нежели ликвидация последствий экологически необоснованных решений (по данным Госкомприроды РСФСР на начало 90-х годов прошлого века).

Экологическое законодательство РФ предусматривает только два[1] юридически значимых вида экологических экспертиз:

- государственную (обязательную);
- общественную (инициативную и добровольную).

Любая (как государственная, так и общественная) экологическая экспертиза в соответствии с Законом основывается на ряде принципов. Прежде всего — это принцип

> презумпции потенциальной экологической опасности любой планируемой хозяйственной и иной деятельности.

Далее это:

- обязательность проведения экспертизы до принятия решения о реализации соответствующего объекта;
- комплексность оценки воздействия на ОС соответствующей деятельности, а также ее последствий;
- обязательность учета требований экологической безопасности;

[1] Встречающаяся информация о иных видах экологической экспертизы (ведомственной, научной, коммерческой и т. п.) является не более чем мнением авторов этих сообщений. Потребность какого-либо предприятия, ведомства или иной организации иметь объективную экологическую оценку материалов некоего нового объекта до представления их на государственную экспертизу может быть полностью удовлетворена путем проведения экологического аудита в соответствии с порядком, предусмотренным ГОСТ Р ИСО 14010-98—14012-98 (см. разд. 10.4.8).

- достоверность и полнота исходной информации;
- независимость экспертов;
- научная обоснованность, объективность и законность;
- гласность, участие общественных организаций;
- ответственность участников экспертизы и заинтересованных лиц за организацию, проведение, а также за качество экспертизы.

Объектами государственной экологической экспертизы являются:

- любые проектные и предпроектные документы;
- новая техника и технология;
- продукция, сырье и материалы, вещества;
- проекты стандартов и нормативов.

Эксперт государственной экологической экспертизы обязан обеспечивать конфиденциальность представленных на экспертизу сведений (п. 5, ст. 16 Федерального закона «Об экологической экспертизе»), тогда как общественная экологическая экспертиза не может проводиться по объектам, сведения о которых составляют государственную, коммерческую и (или) иную охраняемую законом тайну (ст. 21).

Заключение общественной экологической экспертизы приобретает юридическую силу после утверждения его специально уполномоченным государственным органом в области экологической экспертизы.

Финансирование и осуществление работ по всем проектам и программам начинается только при наличии положительного заключения государственной экологической экспертизы.

10.4.5. Экологическая сертификация

В соответствии с Законом от 10.06.93 № 5151-1 «О сертификации продукции и услуг» сертификация продукции есть деятельность по подтверждению соответствия продукции установленным требованиям. Поэтому **экологическая сертификация** (экосертификация) — деятельность по подтверждению соответствия сертифицируемого объекта предъявляемым к нему экологическим требованиям, а именно требованиям законодательных и нормативно-правовых актов в сфере природопользования и охраны ОС.

Цель экосертификации — обеспечение экологически безопасного осуществления хозяйственной и иной деятельности на территории нашей страны для реализации права граждан

на благоприятную окружающую среду, гарантируемого ст. 42 Конституции России.

В область экологической сертификации входят: продукция и технологические процессы; отходы производства и потребления; природные ресурсы и объекты окружающей среды; экологические услуги.

Экосертификация продукции, влияющей на состояние ОС, выделена в отдельное направление сертификации.

Экологическая сертификация в России проводится как в виде обязательной, так и добровольной процедуры в предусмотренных законодательством РФ случаях. Обязательная экологическая сертификация означает, что *государство берет на себя защиту общественных интересов по обеспечению экологических интересов населения и охраны ОС, рационального использования, охраны, воспроизводства природных ресурсов,* а также в иных предусмотренных законодательством случаях.

Экологическая сертификация сходна с государственной экологической экспертизой, однако если объекты экспертизы — это всегда предпроектные, проектные и предплановые документы, то объекты сертификации — готовая продукция, соответственно объектами экологической сертификации являются новая техника, материалы, вещества.

Все товары и услуги, подлежащие обязательной экологической сертификации, относятся к объектам обязательной экологической экспертизы.

Экологические сертификаты выдаются на срок до пяти лет. Продукция, на которую выдан сертификат, маркируется знаком соответствия («зеленый знак» сертификации).

Реклама и реализация (продажа) товаров, подлежащих обязательной экологической сертификации, но не имеющих «сертификата соответствия», — *запрещены.*

В нашей стране создана уже достаточно развитая система органов экологической сертификации, включающая:

- органы по экологической сертификации;
- испытательно-аналитические лаборатории (центры).

Детальное регулирование экосертификации осуществляется ведомственными актами, одним из которых являются «Руководящие документы по природоохранной сертификации РД 001-93».

10.4.6. Лицензирование экологически значимой деятельности

Лицензия — это выдаваемое специально уполномоченным органом разрешение, удостоверяющее право ее владельца на использование в фиксированный (оговоренный) период времени некоторого природного ресурса.

По действующему экологическому законодательству в нашей стране используются различные виды документов, выполняющие одинаковые функции и объединяющиеся понятием «лицензирование». Так, наряду с собственно лицензиями (на право пользования недрами, добычу полезных ископаемых, пользование лесным фондом, отстрел животных и т. д.) применяются разрешения (на выброс в атмосферу и сброс в поверхностные водоемы загрязняющих веществ, на размещение отходов на территории и др.), лесорубочный билет (ордер), лесной билет и др.

Виды деятельности, требующие лицензии для их осуществления, определяются действующим законодательством. Традиционно к ним относятся: во-первых, все виды специального природопользования, включая пользование недрами, рубку леса, промышленный забор природной воды, сброс сточных вод и др.; во-вторых, деятельность, затрагивающая иные общественные экологические интересы общества и государства.

В лицензии определяются (ограничиваются) виды и объемы хозяйственной деятельности по использованию природных ресурсов, экологические требования, при которых допускается такое использование, а также последствия (возможные санкции) при нарушении этих требований.

С 1996 г. проводится также лицензирование отдельных видов деятельности в области охраны ОС, перечень которых устанавливается федеральными законами.

10.4.7. Экологический контроль и мониторинг

Экологический контроль. Экологический контроль — одно из важных звеньев организационно-правового механизма охраны ОС, предусмотренное разделом XI Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС». Его целью является проверка:

- исполнения требований экологического законодательства;
- соблюдения нормативов и нормативных документов в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

Выполнение этих задач возложено на систему экологического контроля, состоящую из государственного, производственного, муниципального и общественного контроля.

Функция экологического контроля попутно осуществляется и при иных правовых мерах регламентации воздействия на ОС, а именно при нормировании, экспертизе, лицензировании и сертификации.

Посредством экологического контроля обеспечивается принуждение природопользователей (субъектов права окружающей среды) к исполнению экологических требований.

Экологический контроль как правовая мера выполняет ряд функций — предупредительную, информационную и карательную.

Государственный экологический контроль. Данный контроль проводится от имени государства, а не какого-либо ведомства, имеющего свои интересы, что дает независимые и более объективные результаты. Это — наиболее влиятельный вид контроля, в частности, потому, что для осуществления своих функций может прибегать к поддержке правоохранительных органов — прокуратуры и суда. Кроме этого, в процессе такого контроля государственные инспекторы могут использовать следующие действенные меры:

- предъявлять требования и выдавать предписания юридическим и физическим лицам об устранении выявленных нарушений;
- приостанавливать хозяйственную и иную деятельность нарушителей;
- привлекать нарушителей к административной ответственности (предупреждение или штраф).

Государственный экологический контроль осуществляется федеральными органами исполнительной власти и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Государственные инспекторы в области охраны ОС (должностные лица органов государственной власти, осуществляющих государственный экологический контроль) при осуществ-

лении должностных обязанностей в пределах своих полномочий имеют право:

- посещать объекты в целях проверки организации независимо от форм собственности, включая объекты, подлежащие государственной охране и оборонные объекты; знакомиться с документами и иными материалами, необходимыми для выполнения служебных обязанностей;
- проверять соблюдение нормативов, государственных стандартов и иных нормативных документов в области охраны ОС, выполнение природоохранных планов и мероприятий;
- проверять работу очистных сооружений и других обезвреживающих устройств, а также средств их контроля;
- привлекать виновных к административной ответственности.

Производственный экологический контроль. Производственный контроль проводится самим предприятием-природопользователем на своих объектах с целью обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности требований природоохранного законодательства и соблюдения установленных нормативов в области охраны ОС, а также самопроверки рациональности природопользования на своих объектах и выполнения планов и мероприятий по ограничению и уменьшению воздействия на ОС. Содержание такого контроля прежде всего зависит от специфики деятельности предприятия.

Проводить производственный экологический контроль в соответствии с требованием ст. 64 и 71 Федерального закона от **10.01.02 № 7-ФЗ«Об** охране ОС» обязана экологическая служба, которая в соответствии со ст. 25 Федерального закона от **04.05.99 № 96-ФЗ** «Об охране атмосферного воздуха» должна быть организована соответствующим юридическим лицом. Сведения об организации производственного экологического контроля предприятия обязаны представлять в органы исполнительной власти и органы местного самоуправления.

Поскольку для обеспечения необходимого уровня качества работ на ряд видов экологической деятельности требуется особое разрешение (например, на проведение инструментальных измерений), то предприятия (прежде всего небольшие) часть производственного контроля выполняют, привлекая специализированные организации. Однако недооценивая важность природоохранной деятельности и стремясь уменьшить затраты, предприятия часто экономят на содержании собственной эко-

логической службы и сводят производственный контроль к минимальному объему, выполняемому организациями-подрядчиками, что снижает эффективность самого действенного вида экологического контроля. Тем не менее по законодательству ответственность за все несвоевременно выявленные нарушения несут руководитель предприятия, лицо, ответственное за природоохранную деятельность, и руководители соответствующих структурных подразделений.

Муниципальный экологический контроль. Данный контроль осуществляется на территории муниципального образования органами местного самоуправления или уполномоченными ими организациями. Это новый вид экологического контроля, появившийся в соответствии с пп. 1, 2 ст. 68 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС».

Общественный экологический контроль. В соответствии с пп. 3, 4 ст. 68 Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС». Этот контроль осуществляется общественными и иными некоммерческими объединениями в соответствии с их уставами, а также гражданами. Его задача — проверка выполнения требований природоохранного законодательства как всеми юридическими лицами от министерства до предприятия, учреждения или организации независимо от формы их собственности и подчиненности, так и всеми должностными лицами и гражданами.

Общественные контрольные функции реализуются, в частности, при участии общественных объединений в оценке воздействия планируемой деятельности на ОС (в рамках ОВОС). Общественный контроль осуществляется и за принятием экологически значимых решений в рамках общественной экологической экспертизы. Важной формой общественного экологического контроля деятельности предприятий и государственных органов является предусмотренное Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» право граждан и общественных объединений затребовать информацию о состоянии ОС и принимаемых мерах по ее охране, а также право граждан предъявлять в суд иски о возмещении вреда окружающей среде.

Тем не менее концепция общественного экологического контроля реализована пока не полностью. В ее развитие с 2002 г. в нашей стране законодательно введено требование проведения экологического контроля в области охраны ОС на муниципальном уровне.

Мониторинг. **Мониторинг** (от лат. *monitor* — напоминающий, надзирающий) — система выполняемых по заданной про-

грамме регулярных комплексных долгосрочных наблюдений за состоянием ОС, ее загрязнением, происходящими природными явлениями, а также оценка и прогноз последующих изменений (рис. 10.17). Один из главных принципов мониторинга — непрерывность слежения. Экомониторинг является начальным этапом системы обеспечения экологической безопасности.

Мировое сообщество пришло к осознанию необходимости координации усилий по сбору, хранению и переработке данных о состоянии ОС в конце 60-х годов XX в. накануне Стокгольмской конференции (см. разд. 10.7.3), где впервые договорились об определении понятия «мониторинг».

Мониторинг за состоянием ОС в нашей стране осуществляется в соответствии с Постановлением Правительства РФ

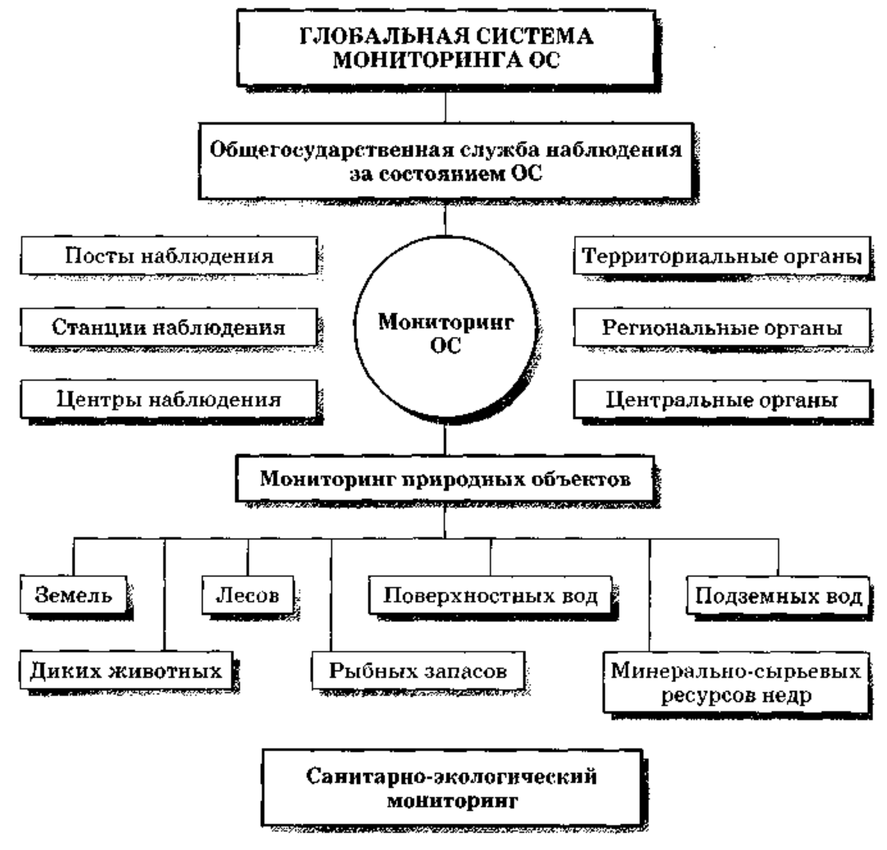


Рис. 10.17. Схема мониторинга состояния природной среды (по *В. В. Петрову*)

«О создании Единой государственной системы экологического мониторинга» от 24.11.93 г., а санитарно-гигиенический мониторинг проводится органами Госсанэпиднадзора на основании Постановления Правительства РФ от 06.10.94 г.

Различают три уровня территориального охвата современного мониторинга:

- *локальный* (биоэкологический, санитарно-гигиенический);
- *региональный* (геосистемный, природно-хозяйственный);
- *глобальный* (биосферный, фоновый), включающий в себя наблюдения за состоянием ОС из космоса — *космический мониторинг.*

В основных структурных элементах ОС ведутся постоянные наблюдения за присутствием следующих наиболее опасных для природных экосистем и человека загрязняющих веществ:

- в атмосферном воздухе — оксидов углерода, азота, серы, взвешенных веществ (аэрозолей), углеводородов, радионуклидов, бенз(а)пирена;
- в поверхностных водах — нефтепродуктов, фенолов, соединений фосфора и азота, тяжелых металлов, пестицидов, минеральных солей, а также контролируется комплексный показатель pH;
- в биоте — тяжелых металлов, радионуклидов, пестицидов.

Проводится мониторинг воздействия вредных физических факторов, таких, как радиация, шум, электромагнитные поля и излучения. Контролируются прежде всего зоны влияния соответствующих крупных источников, а именно АЭС, аэропортов, крупных промышленных и транспортных центров, электростанций и линий электропередачи, телерадиоцентров и ретрансляторов.

В настоящее время в рамках деятельности Всемирной Метеорологической организации создана мировая сеть станций фонового мониторинга, осуществляющая слежение за определенными параметрами состояния ОС. Работа проводится под эгидой Программы ООН по окружающей среде и координируется ЮНЕСКО. Наблюдениями охвачены все типы экосистем.

В России станции комплексного фонового мониторинга расположены в шести биосферных заповедниках (см. разд. 10.2.2), они являются частью глобальной международной сети наблю-

дений. Основными направлениями для изучения глобального мониторинга в нашей стране является изучение:

- глобальных изменений (вследствие загрязнений), проявляющихся повсеместно, например, изменений климата;
- эффектов, связанных с распространением загрязнений на большие расстояния, включая трансграничный перенос, например, закисление почв под влиянием выбросов в атмосферу соединений серы;
- результатов антропогенных воздействий, которым свойственна большая инерционность эффекта, например эффект накопления хлорорганических пестицидов.

Выделяют две составные части мониторинга — абиотическую (геофизическую) и биотическую. Биотический мониторинг (наблюдения за биотой экосистем) в качестве одного из методов использует *биоиндикацию* — определение биологически значимых нагрузок по реакции на них живых организмов и их сообществ. В качестве индикатора выбирается тот вид, который имеет узкую амплитуду экологической толерантности по отношению к какому-либо фактору среды. Преимущественно это растения, ибо они не способны к активному перемещению (см. разд. 3.5).

Мониторинг ОС — самостоятельная пассивная (не преследующая цель принуждения) функция государственного управления.

В 90-е годы XX в. мониторинг и экологический контроль частично смешивались. Закон РСФСР от 19.12.91 № 2060-1 «Об охране окружающей природной среды» содержал ст. 69 о государственной службе наблюдения за состоянием окружающей природной среды в разделе X «Экологический контроль»). Федеральный закон от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» включает отдельную главу X, посвященную государственному мониторингу ОС, в которой отмечается, что этот мониторинг осуществляется для наблюдения за состоянием ОС, в том числе в районах расположения источников антропогенного воздействия, и за воздействием антропогенных источников на ОС.

Государственный экологический мониторинг ведется в целях обеспечения потребностей государства, юридических и физических лиц в достоверной информации об истинном состоянии ОС в нашей стране, необходимой для:

- разработки прогнозов социально-экономического развития и принятия соответствующих решений; целевых программ в области охраны ОС и соответствующих мероприятий;
- предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния ОС.

В настоящее время информация общего назначения, полученная в процессе экомониторинга, представляется:

- бесплатно — органам государственной власти и органам единой государственной системы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- за плату (возмещающую расходы на ее подготовку, копирование и передачу по действующим системам связи) всем другим пользователям.

Результаты экомониторинга природной среды включают в содержание отраслевых кадастров природных ресурсов (см. разд. 10.3) и используют их для принятия экологически значимых хозяйственных и иных решений.

10.4.8. Экологический аудит

Экологический аудит — независимая, комплексная, документированная оценка соблюдения субъектом хозяйственной и иной деятельности требований (включая международные) в области охраны ОС и подготовка рекомендаций по улучшению этой деятельности.

Система экологического аудита в России создана приказом Госкомэкологии РФ от 16.10.97 № 453. Аудит является видом предпринимательской деятельности, включающей в себя комплекс мероприятий, обеспечивающих его проведение. Он носит преимущественно добровольный характер и с эколого-правовой ответственностью непосредственно не связан.

Экологический аудит — важное средство проверки экологической эффективности и оказания помощи в ее повышении. Он может быть заказан, например:

- органами надзора или властными структурами как обычная контрольная процедура либо как ответ на поступивший запрос от общественных организаций;
- собственником предприятия как элемент экологического управления для оценки возможных расходов, например при экологическом страховании;

- инвестором для определения уровня возможных расходов при финансировании некоего проекта;
- банком для решения вопроса о целесообразности и (или) допустимости предоставления целевого кредита[1];
- страховой компанией перед заключением договора страхования для уточнения его условий;
- потенциальным покупателем для определения объема затрат и издержек после приобретения объекта в собственность.

Предметом экологического аудита является фактическая экологическая деятельность экономического субъекта (ассоциации, концерна и т. д.), в том числе:

- природоохранные цели и задачи, экологическая политика аудируемого объекта;
- минимизация выбросов и сбросов от производства, их мониторинг и регулирование;
- размещение, переработка, ликвидация отходов;
- экологическое управление потребляемыми производством природными ресурсами, их рациональное использование и мониторинг;
- деятельность по обеспечению экологической безопасности, в том числе предупреждение экологических аварий;
- деятельность по экологическому информированию, просвещению персонала, взаимодействию с населением;
- взаимодействие с органами государственного экологического контроля и управления;
- эколого-экономическая, эколого-правовая, уголовная ответственность за нарушение природоохранного законодательства, снижение риска ее возникновения и платежей за загрязнение ОС.

Аудит основывается на целях, поставленных заказчиком. Его объем, характеризуемый глубиной и границами, определяется ведущим аудитором. Последовательность этапов экологического аудита показана на рис. 10.18.

Типичные цели экологического аудита:

- определение соответствия системы управления ОС критериям аудита;

[1] Крупнейшие банки Швейцарии, Германии и ряда других стран не предоставляют кредит без доказательства экологической целесообразности проекта.

- идентификация (выявление) области для потенциального улучшения природоохранной деятельности проверяемой организации;
- проверка того, насколько выпускаемая продукция, сырьевые материалы, тара, упаковка соответствуют требованиям потребителей в отношении экологической чистоты.

Определение критериев проверки — важный начальный этап аудита. На соответствующем уровне детализации они вырабатываются ведущим аудитором и клиентом, а потом сообщаются проверяемой организации. Критериями при аудите могут быть политика, методы, процедуры или комплекс каких-либо требований, по которым проверяются собранные данные об объекте аудита.

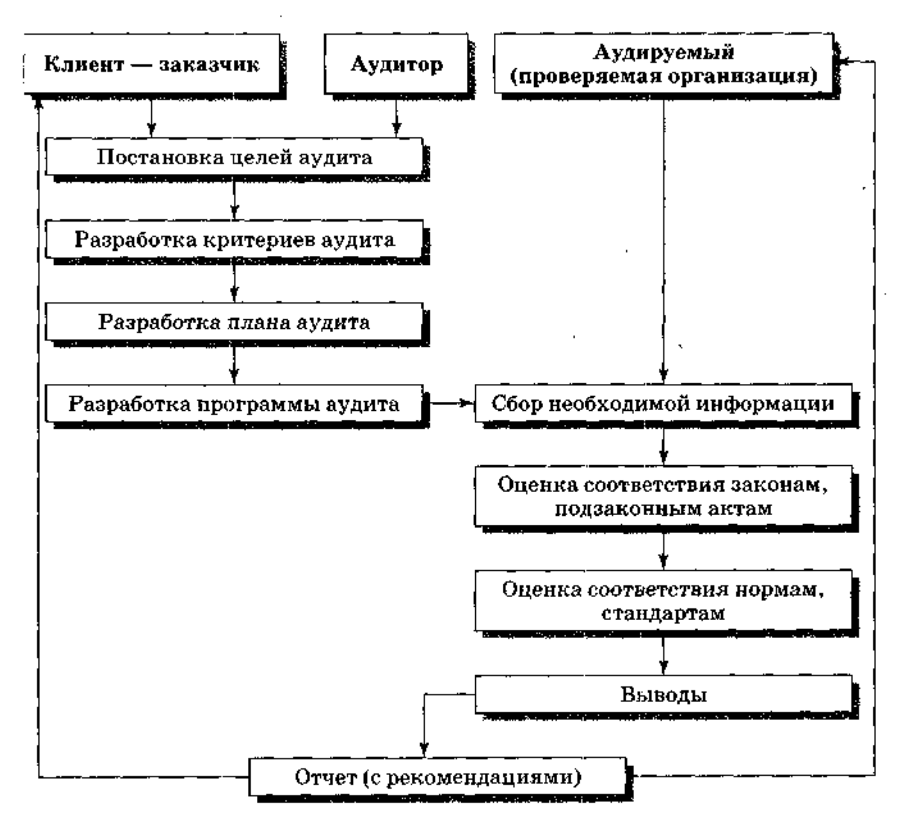


Рис. 10.18. Последовательность этапов и схема взаимодействия участников экологического аудита (по *Е. В. Пашкову, Г. С. Фомину, Д. В. Красному)*

Аудит проводит группа из одного или нескольких аудиторов, включающая при необходимости технических экспертов[1] и аудиторов-практикантов. Один из аудиторов в группе выполняет роль *ведущего аудитора.* При этом *аудитор-эколог* — это лицо, аттестованное для проведения экологических аудитов, критерии квалификации которых установлены в ГОСТ Р ИСО 14 012-98. К ним относятся:

- как минимум законченное высшее образование;
- надлежащий как минимум пятилетний стаж природоохранной работы;
- официальное дополнительное образование в сфере экологических аудитов;
- личные качества и навыки, среди которых: способность ясно выражать понятия и идеи в устном и письменном виде, а также здраво судить на основе объективных данных; навыки межличностного общения и личной организованности; способность с пониманием относиться к традициям и культуре страны или региона, в которых проводится аудит.

Сфера знаний, необходимых аудитору-экологу, распространяется на такие вопросы, как:

- наука об окружающей среде и технология охраны ОС;
- технические и экологические аспекты работы основного технологического оборудования, а также очистных сооружений;
- требования действующего экологического законодательства, стандартов и нормативно-технических документов;
- процедуры, процессы и методы проведения аудита.

Привлечение внешних и (или) внутренних членов аудиторской группы зависит от решения клиента — заказчика аудита. Для объективности процесса аудита, его результатов и любых выводов члены аудиторской группы должны быть независимы от проверяемой ими организации (подразделения, структуры и т. п.), т. е. не должны иметь какой-либо коммерческой, административной или иной заинтересованности в результатах аудита.

Отбор членов аудиторской группы должен гарантировать, что она будет обладать широким спектром специальных зна-

Технический эксперт — лицо, которое предоставляет аудиторской группе свои знания или опыт но специальному вопросу, но не участвует в работе группы как аудитор.

ний и опытом, необходимыми для проведения аудита. Каждому члену группы поручается проверка конкретных элементов системы управления ОС, функций и видов деятельности.

По требованиям экологических стандартов ИСО серии 14 000 экологический аудит должен быть направлен на четко определенный и документально оформленный объект. Юридическое лицо, ответственное за этот объект, должно быть известно (идентифицировано) и официально оформлено в установленном порядке. Отношения между аудиторами и клиентом должны быть конфиденциальными и разумными. Если этого не требует закон, члены аудиторской группы не должны разглашать информацию или документы, полученные при аудите.

Аудит начинают проводить только тогда, когда ведущий аудитор приходит к выводу, что:

- собрана необходимая и достаточная информация об объекте;
- имеются достаточные ресурсы для процедуры аудита;
- имеет место адекватное сотрудничество со стороны проверяемой организации.

Исходные данные (проверяемая информация) должны быть такого качества и в таком количестве, чтобы компетентные аудиторы, работая по одним и тем же критериям независимо друг от друга, получили одинаковые результаты. Однако вполне очевидно, что данные, собранные в процессе аудита, могут быть только выборочными, что частично предопределено ограниченностью длительности аудита и ресурсов. Поэтому в экологических аудитах всегда присутствует элемент неопределенности, о чем следует знать и помнить всем пользователям соответствующих результатов.

В обязанности проверяемой организации, в частности, входит:

- представление помещения для аудиторской группы;
- назначение ответственных и компетентных работников для сопровождения аудиторов и экспертов;
- обеспечение доступа к помещениям, персоналу, надлежащей информации по требованию аудиторов и т. п.;
- сотрудничество с аудиторской группой для достижения целей аудита.

Аудиторские данные собираются путем опроса, изучения документов и наблюдения за деятельностью объекта проверки и условиями, в которых она происходит.

В настоящее время контроль и управление природопользованием в РФ осуществляется главным образом на основании декларируемых самими предприятиями сведений о количестве использованных ресурсов, а также выбросов, сбросов, отходов. Фактическое воздействие на ОС оценить прямыми измерениями чаще всего невозможно. При этом известно, что практически всегда декларируемое воздействие занижено по сравнению с действительным. В таких условиях методы экологического аудита особенно эффективны.

Выводами по аудиту являются профессиональные суждения или мнения аудитора об объекте проверки. Окончательное решение по оценке значимости результатов аудита в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14011-98 относится к компетенции ведущего аудитора, хотя проверяемая организация или заказчик (клиент) могут быть и не согласны с этими результатами.

Результаты аудита и (или) их резюме сообщаются заказчику в письменном заключении. Передача заключения заказчику — обязанность ведущего аудитора. Аудиторское заключение является собственностью заказчика, и он определяет перечень дальнейшей рассылки этого документа. Аудиторы и все получатели заключения обязаны уважать и должным образом сохранять его конфиденциальность.

За разработку плана мероприятий (комплекса корректирующих действий) по результатам экологического аудита ответственность несет заказчик аудита или проверяемая организация, однако аудиторы по просьбе клиента могут дать свои рекомендации.

10.5. Управление в области охраны окружающей среды

Цель управления в сфере экологических отношений — обеспечение охраны ОС от негативного воздействия в процессе хозяйственной и иной деятельности, а также рациональное природопользование при сохранении баланса с социально-экономическими потребностями общества. В России в настоящее время существуют следующие виды управления в области охраны ОС: государственное (в том числе на уровне субъектов федерации) и производственное. Федеральным законом от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС» (ст. 10) введено также управление в области охраны ОС, осуществляемое органами местного самоуправления, на уровне муниципальных образований.

10.5.1. Государственное управление

Функции государственного управления:

- создание системы органов управления и координация их деятельности;
- экологическое нормотворчество, в том числе экологическое нормирование и экологическая стандартизация;
- оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС);
- экологические экспертиза, лицензирование и сертификация;
- экологический аудит;
- экологический контроль и мониторинг;
- экологическое воспитание и образование;
- контроль за использованием и охраной объектов природы;
- подготовка и распространение ежегодного государственного доклада о состоянии и об охране ОС;
- разрешение в административном порядке споров в сфере охраны ОС.

Методы государственного управления в области охраны ОС:

- административный (приказ);
- экономический (создание условий экономической заинтересованности);
- моральный и материальный (награждение, взыскание, премия и т. п.).

10.5.2. Производственное управление

Производственное управление — экологическое управление в масштабах отдельной организации. Для того чтобы экологическая политика организации была действенной, она должна проводиться в рамках определенной системы административного управления и объединяться в единое целое с общей административной деятельностью. Наибольшая эффективность природоохранных мероприятий достигается при включении их в стратегический план организации и при решении задач повышения современной конкурентоспособности продукции.

Модель управления. Международные стандарты ИСО серии 14 000, распространяющиеся на вопросы управления охраной ОС, предназначены для использования любыми[1] организа-

[1] Организациями всех типов и размеров с различными географическими, культурными и социальными особенностями.

зациями с целью достижения как экологических, так и экономических целей. В основе предложенного стандартами подхода лежит концепция, согласно которой организация должна периодически анализировать и оценивать свою систему экологического управления с целью выявления благоприятных возможностей для ее улучшения, а также реализовывать эти возможности (рис. 10.19).

Экологическая политика — заявление организации о своих намерениях и принципах, связанных с ее общей экологической эффективностью. Она определяет целевой показатель требуемого от организации уровня ответственности за состояние ОС и экологической эффективности, по которому будут оцениваться все последующие действия.

При определении экологической политики исходят из того, что

> любая деятельность, продукция или услуга могут воздействовать на окружающую среду.

Эта политика должна непременно отражать обязательство высшего руководства организации соблюдать требования природоохранного законодательства, принятых регламентов и иных действующих нормативно-технических документов, с которы-



Рис. 10.19. Модель системы управления охраной ОС в организации согласно стандартам ИСО серии 14 000

ми организация согласилась, а также постоянно улучшать[x] систему управления охраной ОС.

Целевые показатели и критерии эффективности. Целевые экологические показатели могут включать в себя обязательства:

- сократить отходы и истощение ресурсов;
- сократить (вплоть до нуля) выброс загрязняющих веществ **в** ОС;
- проектировать продукцию таким образом, чтобы свести к минимуму ее воздействие на ОС с учетом жизненного цикла и др.

Факт достижения поставленных целевых экологических показателей может быть установлен с помощью следующих характеристик экологической эффективности:

- количества использованного сырья или потребленной энергии;
- эффективности использования материалов и энергии, топливной эффективности грузовых (пассажирских) перевозок;
- количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также полученных отходов;
- количества «экологических аварий»;
- капиталовложений в охрану ОС;
- количества (или суммы) штрафов и привлечений к юридической ответственности за экологические правонарушения.

На современном этапе развития систем управления, техники и технологии производства в мире *абсолютные значения экологической эффективности экологическими стандартами не устанавливаются.* Признано достаточным всего лишь стремление организации соответствовать действующим законодательным актам и регламентам работ при постоянном улучшении системы экологического управления. Поэтому считается допустимым положение дел, когда несколько организаций, занимающихся одинаковой деятельностью, демонстрируют разную экологическую эффективность — они все могут быть признаны выполняющими требования **ГОСТ Р ИСО 14001-98** и **14004-98.**

Роль руководства организации. Успех системы управления зависит от обязательств в сфере защиты ОС, принятых на

[x] Постоянное улучшение — процесс усовершенствования системы управления охраной ОС с целью повышения общей экологической эффективности в соответствии с экологической политикой организации.

всех уровнях и всеми подразделениями организации, особенно высшим руководством. Одним из основных принципов для руководящего состава организации является признание того, что

управление окружающей средой входит в число высших общих приоритетов организации.

Ведущая роль высшего руководства и неукоснительное соблюдение им обязательства постоянно совершенствовать всю деятельность организации с учетом ее воздействия на ОС являются решающими факторами и гарантией успеха.

Роль персонала. Практика показывает, что успешное функционирование системы экологического управления возможно только при участии всех сотрудников организации. Ответственность в значительной мере может и должна быть возложена и на все подразделения организации (штатные службы, оперативное руководство и т. д.).

Возлагать всю ответственность за охрану ОС только на экологическую службу нельзя.

Очень важно четко определить основные обязанности руководителей и специалистов всех уровней в области охраны ОС и довести до них соответствующие требования.

Достижимые выгоды. Как показывает международный опыт, эффективная система управления охраной ОС позволяет организации:

- иметь определенные экономические выгоды;
- связав экологические целевые и плановые показатели с конкретными финансовыми результатами, иметь гарантию, что ресурсы направлены туда, где они приносят наибольшую пользу как с финансовой, так и с экологической точек зрения;
- получить прочие потенциальные выгоды.

Потенциальные выгоды включают в себя:

- представление потребителям гарантии в том, что производство осуществляется с разумным использованием природных ресурсов и с оптимальным воздействием на ОС;
- поддержание хороших связей с государством, правительством, промышленностью и с общественностью;
- повышение репутации и увеличение рыночной доли;
- усиление контроля за издержками;
- поощрение развития и многое другое.

Прочие аспекты. Организация должна иметь необходимый комплект экологической документации в таком объеме и такого качества, который требуется для полноценного функционирования системы управления ОС. Однако в ГОСТ Р ИСО 14001-98 разъясняется, что основное внимание все же должно быть сосредоточено на эффективности управления ОС, а не на ведении документации.

Измерения, контроль и оценка — ключевые виды деятельности в системе экологического управления, гарантирующие, что организация действует согласно установленной программе, в нужном направлении и с необходимой эффективностью. Поэтому характеристики экологической эффективности должны быть объективными, проверяемыми и воспроизводимыми.

Важная роль в системе экологического управления отводится подготовленности организации к возможным чрезвычайным ситуациям (ЧС) — авариям и катастрофам техногенного и природного характера.

Чтобы определить, соответствует ли система экологического управления запланированным целям и должным ли образом она функционирует, периодически должны проводиться экологические аудиты.

10.6. Инженерная защита биосферы

Наиболее правильным инженерным решением проблемы снижения уровня и интенсивности антропогенного загрязнения ОС является использование максимально замкнутых безотходных и малоотходных технологий переработки сырья, комплексное использование всех его составляющих, сведение к минимуму количества газообразных, жидких, твердых и энергетических отходов непосредственно в технологических процессах. Концепция безотходного производства была выдвинута академиками Н. Н. Семеновым и И. В. Петряновым-Соколовым.

Первоначально **безотходным производством** называли такой способ производства некоторой группы продуктов потребления, при котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле «сырьевые ресурсы — производство — вторичные сырьевые ресурсы — отходы производства и потребления», и все воздействие на ОС, сопровождающее названный цикл, не нарушает ее (среды) нормального функционирования, т. е. под безотходным производством понималась замкнутая система, организованная по аналогии с природными экологическими системами.

В качестве промежуточного этапа на пути создания безотходного производства было предложено **малоотходное производство** — способ производства (в рамках вышеназванного цикла), при котором воздействие на ОС не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормативами. При этом по объективным причинам (техническим, экономическим, организационным или иным) часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение или захоронение.

Ресурсосбережение наряду с энергосбережением[1] должно развиваться по пути поиска и освоения новых современных технологических решений, что позволяет им быть весомыми дополнительными источниками сырья и энергии. Расчеты показывают, что одно только повсеместное внедрение энергосберегающих технологий позволяет стабилизировать уровень потребления топлива, причем при обеспечении более высокого жизненного уровня населения.

Термин «**безотходное производство**» в свое время получил достаточно широкое распространение во всем мире. Часто его синонимами считают такие понятия, как «безотходная технология», «безотходная технологическая схема» и даже просто «чистая технология».

В 70-х и 80-х годах прошлого века было затрачено много усилий для создания мало- и безотходных технологий переработки сырья и производства продукции, однако в конце концов был сделан вывод о принципиальной невозможности полного и повсеместного исключения отходов на уровне отдельных технологических процессов.

Критика концепции безотходного производства начинается с того, что создать такое производство нельзя ни практически, ни даже теоретически. Действительно, энергию в соответствии со вторым законом термодинамики невозможно трансформировать в работу на 100%, следовательно, энергетические отходы неизбежны. Однако концепция безотходного производства и не предполагает полное использование энергии. Вполне достаточно использовать ее максимально рационально.

[1] Энергетические потери при существующих масштабах производства и потребления имеют весьма существенное значение. Так, по некоторым оценкам считается, что из общего объема потребляемых мировых энергоресурсов на удовлетворение реальных потребностей человека используется всего 1/3, причем наибольшие потери энергии связывают с транспортом — до 90%, с коммунальной сферой — около 70% и с бытовым потреблением — до 60% потерь.

Строго говоря, и исходное сырье не может быть преобразовано в продукцию столь же (на 100%) полно, хотя образующиеся при этом отходы вполне могут быть применены для получения какой-либо другой продукции, например, строительного материала, при сооружении дорожного полотна, для улучшения ландшафта и т. п.

Экологическое совершенство производства возможно только при комплексной переработке сырья во все возможные виды продукции, причем при наличии замкнутой системы водоснабжения и при полной многократной повторной рекуперации (улавливании и использовании) всех отходов. Максимальный успех при создании безотходных производств (в первоначальном понимании этого термина) достигается по системе СКОВИО — снижение количества отходов в источнике их образования. Малоотходные процессы и технологии возможны в различных отраслях производства, и уже существуют на практике, например, натуральное сельское хозяйство, в котором система «земледелие—животноводство» эффективно утилизирует отходы сама внутри себя. Земледелие дает животноводству корм (в том числе отходы переработки зерна, подсолнечника и др.), а отходы животноводства — ценнейшие для плодородия органические удобрения.

Другим примером техногенно созданного и максимально замкнутого цикла служит территориально-производственный комплекс (ТПК), имеющий большие возможности для обмена сопряженной продукцией и отходами-вторсырьем. Один из таких комплексов — Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс (КАТЭК), базирующийся на крупнейших запасах бурых углей.

Создание мало- и безотходных производств — процесс длительный, требующий решения сложнейших взаимосвязанных задач, причем не только технологических и инженерных, но и в значительной мере организационных, экономических, психологических и иных.

Поэтому в настоящее время (при современном уровне развития науки и техники) признано достаточным создание и повсеместное использование **экологически оптимальных технологий и производств**[1]**,** выделяющихся среди прочих относительно наименьшим уровнем загрязнения ОС. При этом

[1] Данный термин имеет синонимы «экологически ориентированные технологии», «экологически обоснованные технологии», «экологичные технологии», «экотехнологии», технологии «дружественные по отношению к окружающей среде», процессы «зеленой химии».

остается аксиомой утверждение, что при прочих равных условиях чем меньше отходов, тем лучше.

Термин «безотходное производство» наиболее целесообразно применять к территориально-производственным комплексам, а прогрессивные технологии, отличающиеся наименьшим воздействием на ОС, следует называть либо малоотходными, либо ресурсосберегающими, но лучше всего — экологически оптимальными технологиями, техпроцессами, производствами.

Общее загрязнение биосферы характеризуется не только количеством отходов, но и их токсичностью. В те же 70—80-е годы прошлого века была также проведена большая работа по уменьшению токсичности выбросов действующих производств. Например, вместо лакокрасочных материалов на основе органических растворителей стали широко использоваться



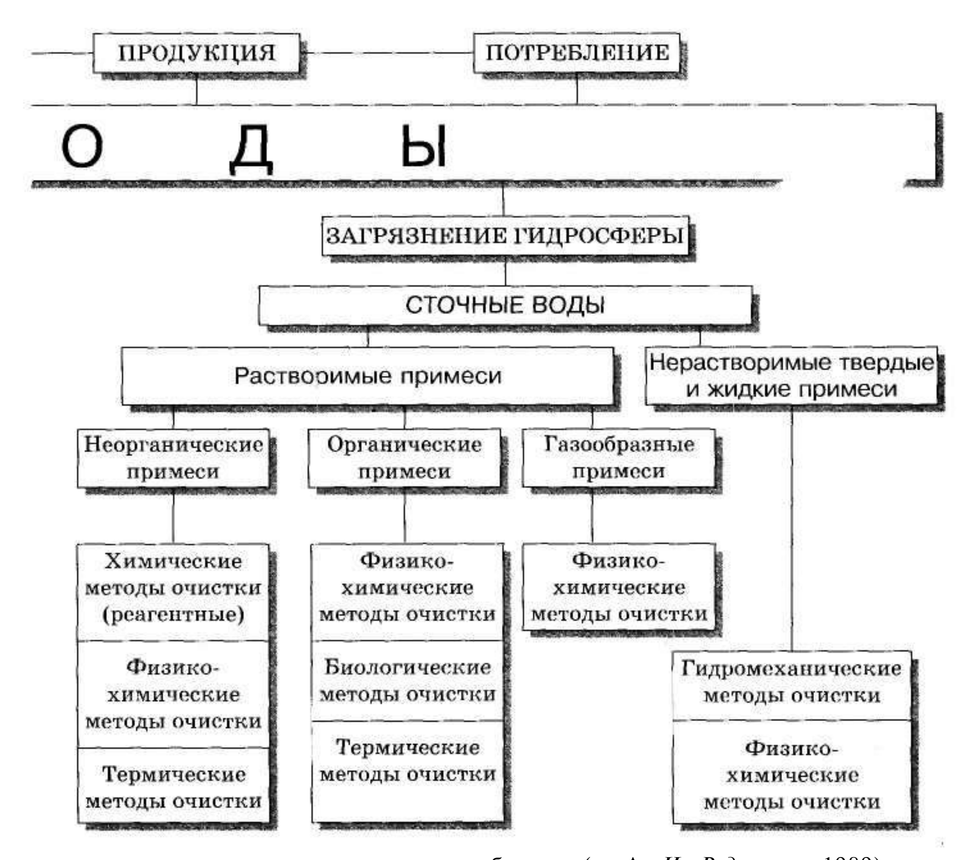
Рис. 10.20. Методы обезвреживания и переработки газообразных, ЖИДКЕ

порошковые и водорастворимые краски и лаки и др. Кроме того, большой прогресс был достигнут в области создания экологически более совершенного оборудования.

Традиционный способ инженерной защиты ОС — прямые природоохранные мероприятия. Так, строительство очистных сооружений продолжает оставаться одним из наиболее эффективных способов уменьшения загрязнения биосферы.

Отходы промышленных, транспортных, коммунальных и прочих предприятий поступают в ОС в газообразном, жидком и твердом состоянии, при этом их принято подразделять на:

- выбросы в атмосферу;
- сбросы в природные поверхностные водоемы;
- отходы (твердые и высококонцентрированные жидкие), размещаемые на какой-либо территории.



твердых отходов производства и потребления (по *А. И. Родионову,* 1989)

Агрегатное состояние загрязнений, их химический и дисперсный составы и т. п. определяют конкретную технологию, тип и конструктивные особенности аппаратов очистки. Одна из наиболее общих классификаций современных методов очистки представлена на рис. 10.20. Однако стоимость очистных сооружений достаточно велика, во многих случаях она сопоставима со стоимостью самого производства.

Особое место среди прочих занимают методы биохимической очистки, использующие для обезвреживания отходов живые организмы, что гарантирует отсутствие токсичных компонентов в конечных продуктах переработки. Методы наиболее эффективны для очистки от органических загрязнителей, а также для улавливания некоторых неорганических веществ, таких, как сернистый водород H_2S, аммиак NH_3 и др.

Организмы систем биологической очистки воды или воздуха находятся в специальных аппаратах в виде активного ила или биопленки. Активный ил состоит в среднем из 12 видов организмов — бактерий, простейших, грибов, личинок и пр. Используются как аэробные, так и анаэробные организмы.

На рис. 10.21 в качестве примера приведена технологическая схема биохимической очистки сточных вод. Загрязненная (сточная) вода очищается от взвешенных частиц в отстойнике *1* и поступает в предаэратор *2.* Туда же подается часть активного ила (около 10 % общего расхода) и воздух. Примерно

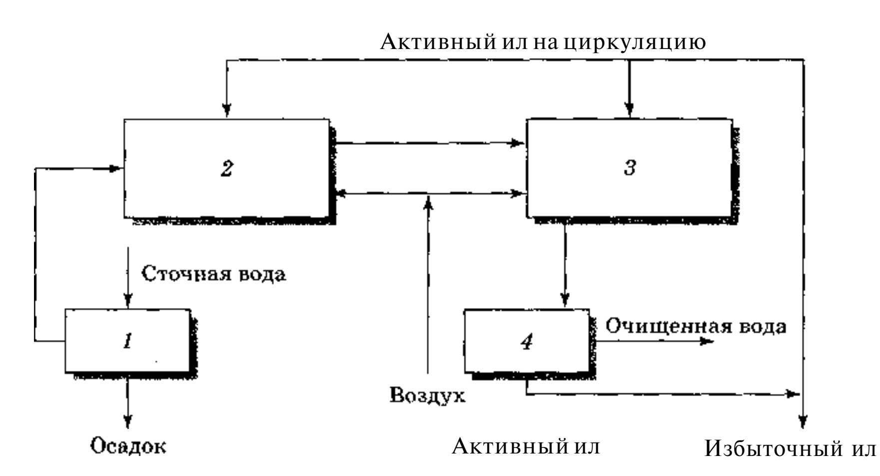


Рис. 10.21. Технологическая схема биохимической очистки сточных вод: *1* — первичный отстойник; *2* — предаэратор; *3* — аэротенк; *4* — вторичный отстойник

20 мин воздух перемешивает активный ил с водой, после чего смесь подается в главный аппарат очистки — аэротенк 3.

Время нахождения воды в аэротенке *3* выбирается достаточным для того, чтобы организмы активного ила переработали (разложили) загрязняющие вещества. Потребляя загрязнения в пищу, организмы быстро размножаются, и объем активного ила увеличивается.

Из аэротенка 3 смесь воды и ила поступает во вторичный отстойник *4,* а оттуда очищенная и отстоявшаяся вода может сбрасываться в природный водоем либо вновь использоваться для производственных нужд. Активный ил со дна отстойника *4* возвращается в технологический процесс (в аппараты *2* и 3), а его избыток вывозится на специально оборудованные иловые площадки. Избыточный ил можно использовать в качестве удобрения, для подкормки скота и др.

Серьезная проблема современных городов — обезвреживание и переработка твердых бытовых отходов (ТБО). Например, в Москве ежегодно образуется до 300 кг ТБО на каждого жителя. Работы по обезвреживанию и переработке отходов дороги, но необходимы для поддержания благоприятной санитарно-эпидемиологической обстановки в городе, и кроме того, в отходах содержатся ценные компоненты: лом металлов, бумага, пластмассы, стекло, пищевые отходы, которые могут служить вторичным сырьем.

Наряду с мусоросжигательными заводами, полигонами для захоронения все шире применяют мусороперерабатывающие заводы (рис. 10.22). В соответствии со схемой процесс обезвреживания отходов осуществляется путем биотермического компостирования, проводимого в две стадии: 1) в горизонтальных вращающихся биобарабанах; 2) в штабелях на площадках дозревания. В биобарабанах при температуре 55—60 °С в аэробных условиях протекает биохимическое окисление органических компонентов отходов и одновременно погибают болезнетворные микроорганизмы, яйца гельмитов, личинки и куколки мух.

Основные стадии процесса обработки отходов на мусороперерабатывающих заводах:

- прием и предварительная подготовка ТБО;
- биотермическое компостирование;
- сортировка и складирование компоста;
- обработка некомпостируемых фракций.

Обычно выход компоста колеблется в пределах от 60 до 68% массы отходов, поступивших на переработку.

При всех положительных результатах и современных достижениях следует констатировать, что

очистка от загрязнений, малоотходные технологии и ресурсосбережение хотя и являются актуальными на локальном уровне, но на планетарном они все же недостаточны!

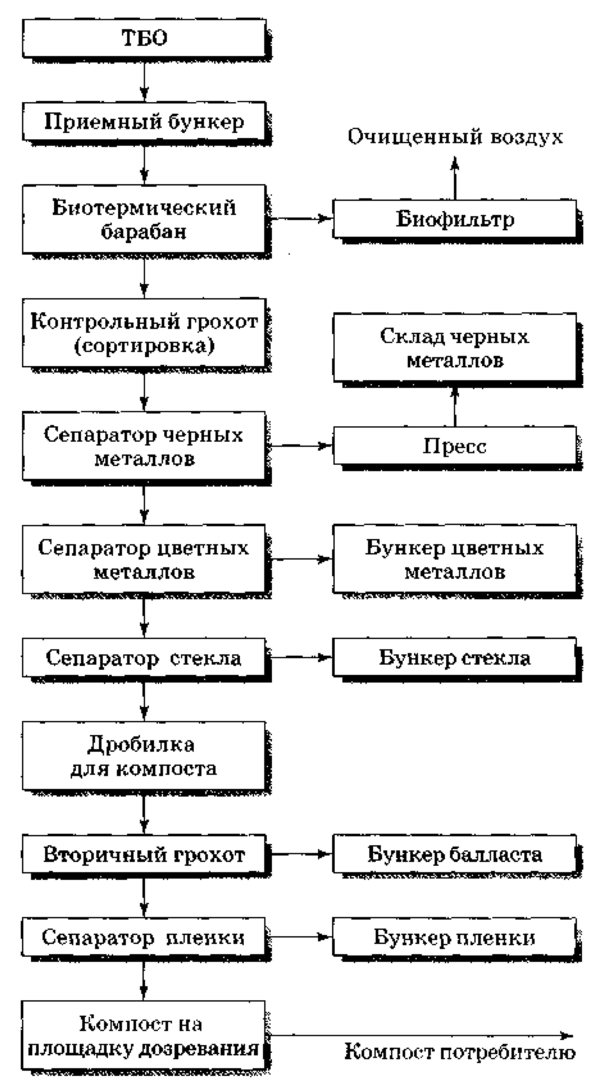


Рис. 10.22. Стадии основного технологического процесса на мусороперерабатывающем заводе

За последние 25 лет мир убедился, что «поправки» и «ремонт» хозяйства путем применения новых, так называемых ресурсосберегающих технологий и «экологически чистых»[1] источников энергии, потребовавшие, по оценкам В. И. Данилова-Данильяна и К. С. Лосева, триллионы долларов, «способны улучшить ситуацию только в отдельных локальных случаях, в целом же глобальную ситуацию они только ухудшили».

10.7. Международное сотрудничество

Международное сотрудничество государств с целью охраны среды обитания человека, растительного и животного мира организовано под эгидой ООН и на двухсторонней основе. Необходимость международного сотрудничества в области охраны окружающей среды диктуется тем, что

> государства находятся в экологической зависимости друг от друга.

Поэтому в 1992 г. в Рио-де-Жанейро с трибуны Конференции ООН по окружающей среде и развитию прозвучали слова ее Генерального секретаря Мориса Стронга:



> «Мы выживем вместе, в противном случае не выживет никто».

Выбросы в атмосферу, загрязнение рек, морей и океанов и т. п. не могут быть ограничены государственными границами. Таким образом, ряд важнейших частей ОС относится к объектам международного сотрудничества. Прежде всего это объекты, не входящие в юрисдикцию государств.

- *Космос* — самый характерный международный объект охраны — достояние всего человечества.
- *Антарктида* — материк мира и международного сотрудничества, принципы охраны и использования которого установлены еще в 1959 г. специальным Договором об Антарктиде.

[1] Поистине экологически чистыми источниками энергии, а также видами транспорта в полной мере являются лишь олени, лошади, быки и им подобные «дв;игатели».

- *Атмосфера* Земли, в которой из-за природной циркуляции воздуха (см. разд. 7.2.2) возникли глобальные экологические проблемы: погодно-климатические изменения; разрушение озонового слоя; трансграничный перенос загрязняющих веществ.
- *Мировой океан* — огромная кладовая природных ресурсов и общепланетарная транспортная система, давние попытки национальных притязаний на которые завершились лишь в 1973 г. с подписанием Конвенции ООН по морскому праву, где подтверждена незыблемость принципа свободного мореплавания (кроме территориальных вод, внешняя граница которых установлена на расстоянии 12 миль от берега); признано суверенное право государств на биоресурсы в их прибрежных 200-мильных зонах (см. разд. 10.1).

Кроме того, это объекты, входящие в юрисдикцию государств:

- *разделяемые природные ресурсы,* находящиеся в пользовании двух и более государств (реки Дунай, Рейн, моря Балтийское, Средиземное и др.);
- *редкие и исчезающие растения и животные,* занесенные в международную Красную книгу;
- *уникальные природные объекты,* принятые на международный контроль (заповедники, национальные парки, памятники природы и др.), на содержание и охрану которых выделяются средства международными организациями за счет специальных фондов.

Важная роль сотрудничества государств и наций в развитии просвещения в сфере охраны природы была признана еще в начале XX в., когда в 1913 г. на Конференцию по международной охране природы в Берне (Швейцария) собрались ученые 18 стран.

10.7.1. Принципы сотрудничества

Впервые основные принципы международного экологического сотрудничества были обобщены в Декларации Стокгольмской конференции ООН (1972). В современном понимании они изложены в Декларации конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992). Эти принципы включают, в частности, следующие идеи:

- люди имеют право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с Природой;

- развитие на благо нынешнего поколения не должно осуществляться во вред интересам развития будущих поколений и во вред ОС;
- государства имеют суверенное право разрабатывать свои собственные ресурсы, но без ущерба ОС за пределами их границ;
- искоренение нищеты и неравенства в уровне жизни в различных частях мира необходимо для обеспечения устойчивого роста и удовлетворения потребностей большинства населения;
- государства сотрудничают в целях сохранения, защиты и восстановления целостности экосистем: Земли;
- государства развивают и поощряют информированность и участие населения путем предоставления широкого доступа к экологической информации;
- государства принимают эффективные национальные законы по ОС;
- экологическая политика не должна использоваться для неоправданного ограничения международной торговли;
- в принципе тот, кто загрязняет ОС, должен нести и финансовую ответственность за это загрязнение;
- государства уведомляют друг друга о стихийных бедствиях или деятельности, которые могут иметь вредные трансграничные последствия;
- война неизбежно оказывает разрушительное воздействие на процесс устойчивого развития. Мир, развитие и охрана ОС взаимозависимы и неразделимы.

10.7.2. Международные организации

Международные организации позволяют объединить природоохранную деятельность заинтересованных государств независимо от их политических позиций, выделяя экологические проблемы из совокупности всех международных проблем. Россия активно участвует в работе многих международных экологических организаций.

10.7.2.1. Межправительственные экологические организации

Большой вклад в решение проблем охраны ОС вносит ООН. В природоохранной деятельности участвуют все ее главные органы и специализированные учреждения.

Специализированные учреждения ООН в сфере охраны ОС:

ЮНЭП (от англ. UNEP — *United Nations Environmental Program* — Программа ООН по окружающей среде) осуществляется с 1972 г. и является основным вспомогательным органом ООН. Через Экономический и Социальный совет ЮНЕП ежегодно представляет доклады о своей деятельности Генеральной Ассамблее ООН.

ЮНЕСКО (от англ. *UNESCO — United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* — Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры) существует с 1946 г. с целью содействия миру и международной безопасности, сотрудничества между государствами в области просвещения, науки и культуры. Наиболее известным направлением в деятельности является научная программа «Человек и биосфера» (МАБ), принятая в 1970 г.

ФАО (от англ. *FAO — Food and Agricultural Organization UN* — Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), образованная в 1945 г., занимается вопросами продовольственных ресурсов и развития сельского хозяйства в целях улучшения условий жизни народов мира.

ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения), созданная в 1946 г., имеет главной целью заботу о здоровье людей, что непосредственно связано с охраной ОС.

ВМО (Всемирная метеорологическая организация) — учреждена как специализированное учреждение ООН в 1951 г., природоохранные функции которой прежде всего связаны с глобальным мониторингом ОС, в том числе:

- оценка трансграничного переноса загрязняющих веществ;
- изучение воздействия на озоновый слой Земли.

МОТ (Международная организация труда) — специализированное учреждение ООН. Создано в 1919 г. при Лиге Наций с целью создания безопасных условий труда и уменьшения загрязнения биосферы, возникающего часто из-за пренебрежительного отношения к производственной среде.

МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии) учреждено в 1957 г. Осуществляет свою деятельность по договору с ООН, но не является ее специализированным учреждением.

Международные региональные организации, осуществляющие природоохранную деятельность не под эгидой ООН: Евратом, Европейский совет, Европейское экономическое сообщество, Организация экономического сотрудничества и разви-

тия, Азиатско-Африканский юридический консультативный комитет, Хельсинкский комитет по охране Балтийского моря (Хелком) и др.

10.7.2.2. Неправительственные международные организации

В конце 90-х годов в мире насчитывалось несколько сотен (по разным данным 200—500) неправительственных международных организаций, включивших в свою деятельность природоохранные мероприятия, а также проявляющих интерес к экологическим проблемам.

Международный союз по охране природы — МСОП (от англ. *IUCN International Union for the Conservation of Nature)* — создан в 1948 г. в Фонтенбло (Франция). Работа МСОП способствует реализации Вашингтонской конвенции о международной торговле дикими видами фауны и флоры (CITES). МСОП — инициатор ведения Красных книг.

Всемирный фонд охраны дикой природы (от англ. *WWF — World Wide Fund for Nature)* — самая многочисленная частная международная экологическая организация, создана в 1961 г., объединяет 27 национальных отделений во всем мире (Российское представительство было открыто в **1994** г.), а также около 5 млн индивидуальных членов. Деятельность фонда заключается в основном в оказании финансовой поддержки природоохранным мероприятиям; в природоохранные проекты России уже вложено более 12 млн долл. США.

Международная юридическая организация (МЮО), созданная в 1968 г., уделяет большое внимание разработке правовых вопросов охраны ОС.

Римский клуб (РК) — международная неправительственная организация, которая внесла значительный вклад в изучение перспектив развития биосферы и пропаганду идеи необходимости гармонизации отношений Человека и Природы. Основная форма ее деятельности — организация крупномасштабных исследований по широкому кругу вопросов, преимущественно в социально-экономической области.

Римский клуб[1] положил начало работам по исследованию проблем, названных «Глобальной проблематикой». Для ответа

[1] Членство в Римском клубе ограничено (100 чел.). Это люди, не занимающие официальные правительственные посты и не представляющие интересы каких-либо стран.

на поставленный вопрос ряду выдающихся ученых того времени была заказана серия «Докладов Римскому клубу» под общим названием «Трудности человечества». Полученные результаты прогнозирования перспектив развития мира по компьютерным моделям[1] были опубликованы и обсуждались во всем мире.

Первым в 1972 г. был доклад группы Д. Медоуза «Пределы роста».

В период с 1973 по **1980** гг. (годы расцвета деятельности и международного влияния Римского клуба) были подготовлены еще несколько докладов, в том числе Я. Тинбергеном (1977), Э. Ласло (1977). В 1978—1980 гг. обсуждались проблемы переработки отходов, использования энергии, организации общества, достижения изобилия и благосостояния. Важную роль сыграл доклад Боткина с соавторами «Нет пределов обучению» **(1980).**

В 1994 г. Э. Вайцзеккер с соавторами подготовили обстоятельный доклад «Фактор четыре», наметивший основные пути решения проблем энергосбережения. В настоящее время Римским клубом продолжаются исследования современного состояния мира, в котором произошли фундаментальные перемены, особенно в геополитике, при этом экологическая ситуация на планете продолжает ухудшаться.

В работе Римского клуба участвовали и участвуют наши выдающиеся соотечественники. В разное время действительными членами клуба были академики Д. М. Гвишиани, Е. К. Федоров, В. Е. Примаков, А. А. Логунов, Ч. Айтматов, почетными членами — М. С. Горбачев и Б. Е. Патон.

Международный экологический суд **(МЭС)** был учрежден по инициативе юристов на конференции в Мехико в ноябре 1994 г. В практической экологической деятельности мирового сообщества возникают споры, требующие соответствующего компетентного разрешения. Состав судей включает 29 юристов-экологов из 24 стран, в том числе представителя России.

Споры в Международном экологическом суде рассматриваются на принципах третейского суда. Стороны сами принимают решение об обращении в суд и выбирают из его состава трех или более судей для рассмотрения дела, которое проводится на

[1] К началу 1980-х годов было создано более десятка крупномасштабных моделей развития мира. Наиболее известны модели Дж. Форрестера, Д. Медоуза с соавторами, Месаровича-Пестеля, Глобал-2000, латиноамериканская, британская, японская и мировая (ООН).

основании международного права ОС, национального законодательства сторон и прецедентов.

ГРИНПИС *(Greenpeace — «Зеленый мир»)* — независимая международная общественная организация, ставящая своей целью предотвращение деградации окружающей среды, создана в Канаде в **1971** г. Она насчитывает около 1,5 млн членов, 1/3 которых — американцы. Гринпис имеет статус полноправного члена или официального наблюдателя в ряде международных конвенций по охране ОС; имеет отделения в 32 странах мира, в том числе в России его официальное представительство действует с **1992** г.

Большинство международных неправительственных организаций занимается вопросами охраны отдельных природных объектов или видов природных ресурсов. К ним относятся Международный совет по охране птиц, Международная федерация по охране альпийских районов, Европейская федерация по охране вод и т. п.

10.7.3. Конференции и соглашения

Ежегодно в мире проводятся сотни и даже тысячи конференций экологического направления (многосторонние и двусторонние, правительственные и неправительственные), на которых принимаются соответствующие документы: соглашения, конвенции, декларации, договоры и др. Это одна из развитых форм международного сотрудничества.

Приняв международные обязательства СССР, Россия стала участницей всех соответствующих международных соглашений. Особый интерес и особое международное значение, по мнению авторов, имеют следующие конференции и соглашения, приводимые в хронологическом порядке:

Международная конвенция по борьбе с заразными болезнями животных (Женева, 20 февраля 1935 г.);

Международная конвенция по регулированию китобойного промысла (Вашингтон, 2 декабря **1946** г.), дополнившая и развившая положения Соглашения по регулированию китобойного промысла (Лондон, 8 июня **1937** г.);

Первая Межправительственная конференция экспертов по научным основам рационального использования и сохранения естественных ресурсов биосферы (Париж, 4—13 сентября **1968** г.), подготовленная ЮНЕСКО в сотрудничестве с ООН, ФАО, ВОЗ, МСОП и др. Работа шла по трем направлениям: научные исследования, образование, политика;

Конференция ООН по окружающей среде (Стокгольм, 5—6 июня 1972 г.) при участии 113 стран приняла два основных документа:

Декларацию принципов, включающую 26 основных положений;

План мероприятий, где обозначены пути решения организационных, экономических и политических задач взаимоотношений государств при сотрудничестве в области охраны ОС;

Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия (Париж, ноябрь 1972 г.);

Совещание по безопасности и сотрудничеству в Европе (Хельсинки, август 1975 г.) с участием стран Европы, США и Канады приняло Заключительный акт, в котором отражены вопросы политической и экологической безопасности. С целью реализации достигнутых соглашений позже приняты;

Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха (Женева, 13 ноября 1979 г.);

Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий (Хельсинки, 17 марта 1992 г.);

Международная конвенция о гражданской ответственности за ущерб от загрязнения нефтью (Брюссель, 29 ноября 1969 г. с изменениями и дополнениями от 18 декабря 1971 г. и от 19 ноября 1976 г.);

Конвенция о запрещении военного или любого иного враждебного использования средств воздействия на природную среду (Женева, 18 мая 1977 г.);

Всемирная хартия природы, принятая Генеральной Ассамблеей ООН (28 октября 1981 г.), определила приоритетные направления экологической деятельности международного сообщества и способствовала формированию экологической политики государств на то время;

Венская встреча представителей государств — участников Совещания в Хельсинки (Вена, 22 апреля 1985 г.), принявшая итоговый документ, содержащий, в частности, рекомендации:

сократить выбросы в атмосферу серы на 30% до 1995 г., а также углеводородов и других загрязняющих веществ;

разработать способы захоронения опасных отходов, альтернативных способу захоронения в море;

сократить производство озоноразрушающих веществ;

провести исследования роли $C0_2$ в глобальных климатических изменениях;

Монреальская встреча (Монреаль, 16 сентября 1987 г.), на которой представители 98 стран приняли Соглашение (Монреальский протокол) о постепенном прекращении серийного производства хлорфторуглеродов (ХФУ) и запрещении выброса их в атмосферу;

Лондонская встреча (Лондон, 27—29 июня 1990 г.), где представители почти 60 стран подписали дополнительный (к Монреальскому) протокол с требованием полностью прекратить производство ХФУ к 2000 г.;

Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 3—14 июня 1992 г.), организованная для подведения итогов 20-летней деятельности после Стокгольмской конференции. В Конференции участвовали 179 государств и более 30 международных организаций; на ней встретились 114 глав государств, представители 1600 неправительственных организаций. В Рио были обсуждены и приняты пять основных документов:

Декларация РИО по окружающей среде и развитию, 27 принципов которой определяют права и обязанности стран в деле обеспечения развития и благосостояния людей;

Программа действий ООН «Повестка дня на XXI век»[1] — программа того, как сделать развитие устойчивым с социальной, экономической и экологической точек зрения;

Заявление «О принципах в отношении лесов», касающееся управления, защиты и устойчивого развития всех видов лесов, жизненно необходимых для обеспечения экономического развития и сохранения всех форм жизни;

Рамочная[2] *конвенция «Об изменении климата»,* цель которой — стабилизация концентрации в атмосфере газов, вызывающих парниковый эффект, на таких уровнях, которые не вызовут опасного дисбаланса климата планеты;

[1] Принята без церемонии подписания при отсутствии формально заявленных возражений путем консенсуса (от лат. *konsensus* — согласие, единодушие) государств. По юридической силе она является актом «мягкого» международного права и носит рекомендательный характер.

[2] По аналогии с юридическим понятием «рамочный закон» во Франции и ряде государств, бывших французских колониях, — это особая форма законодательных актов, принимаемых парламентом, устанавливающих лишь общие принципы регулирования какой-либо сферы. В англоязычных странах — это скелетные законодательные акты. Таким образом, «рамочная конвенция» — многостороннее соглашение, устанавливающее общие принципы, но не связывающее обязательствами по специфическим действиям.

Конвенция «О биологическом разнообразии», требующая, чтобы страны приняли меры для сохранения разнообразия живых существ и обеспечили справедливое распределение выгод от использования биологического разнообразия;

Общеевропейская конференция министров окружающей среды (София, октябрь 1995 г.) приняла итоговые документы, основные из которых:

Декларация министров;

Экологическая программа для Европы;

Конференция Сторон Рамочной Конвенции ООН по изменению климата (Киото, Япония, декабрь 1997 г.), на которой подписан Протокол к Конвенции или Киотский протокол (см. разд. 9.1.1).

Международный конгресс по устойчивому развитию (World Summit on Sustainable Development), 26.08 — 04.09.2002, Йоханнесбург, ЮАР.

10.8. Переход к устойчивому развитию

Развитие Человечества в прошлом веке было ориентировано на быстрый рост экономики, что привело к беспрецедентному по масштабам вредному воздействию на биосферу.

Возникли противоречия между всевозраставшими потребностями мирового сообщества и ограниченными возможностями биосферы по их удовлетворению. Богатства, способность обеспечивать развитие вида *Homo sapiens* и возможность самовосстанавливаться оказались у Природы достаточно ограниченными.

Было доказано, что устранение возникших противоречий и дальнейшее улучшение качества жизни людей возможно только в рамках стабильного социально-экономического развития, не разрушающего естественный биотический механизм саморегуляции Природы.

Термин *«sustainable development»,* переведенный с английского как «устойчивое развитие»[1], впервые был применен в 1980 г. в докладе «Всемирная стратегия охраны природы», подготовленном Международным союзом охраны природы и природных ресурсов. Однако всеобщее внимание к идее с таким названием было привлечено только в 1987 г. после пуб-

Весьма неточный перевод. Более правильно смысл термина передается переводами: «развитие, которое поддерживает само себя», «самоподдерживающееся развитие» или «сбалансированное развитие».

ликации доклада «Наше общее будущее», представленного в ООН Комиссией по окружающей среде и развитию[1].

На Конференции ООН в Рио-де-Жанейро (см. разд. 10.7.3) теория устойчивого развития составила концептуальную основу принятых решений. В ее документах **устойчивое развитие** определяется как развитие, позволяющее на долговременной основе обеспечить стабильный экономический рост, не приводящий к деградационным изменениям ОС.

В конце XX в. понятие «устойчивое развитие» стало распространенным во всем мире, широко используемым в научной и популярной литературе, часто звучащим в выступлениях государственных и политических деятелей. Тем не менее осмысление этого понятия, поиск его определения продолжаются.

Понятие «устойчивое развитие» в наши дни трактуется как в узком, так и в широком смыслах. В узком смысле подчеркивается его экологическая составляющая, акцентирующая внимание на необходимости оптимизации хозяйственной деятельности человека в биосфере. Таков подход специализированных учреждений ООН. Например, специалисты ФАО связывают выход на уровень устойчивого развития с созданием такого аграрного сектора, который обеспечивал бы полноценное удовлетворение потребностей настоящего и будущих поколений при сохранении природно-ресурсного потенциала биосферы, существующего в настоящее время.

В широком смысле устойчивое развитие понимается как процесс, соответствующий новому типу функционирования цивилизации, с экономическими, социальными, экологическими, культурными параметрами, радикально отличными от сложившихся исторически, т. е. ставится задача оптимизации управления не только природно-ресурсным потенциалом, но и всей совокупностью природно-социокультурного богатства. По существу, речь идет о комплексной системе показателей, определяющей динамику устойчивого развития цивилизации, или о современной трактовке учения о ноосфере (см. разд. 7.4.2.4), т. е. к достижению гармонии Общества и Природы.

Сроки, полнота и, главное, — «цена» перехода Общества к устойчивому развитию в соответствии с современным экологическим императивом (всеобщим обязательным законом) зависит от решения четырех основных задач современности:

[1] Создана ООН в 1983 г. В состав комиссии входили представители около 100 стран, в том числе акад. В. Е. Соколов (СССР), руководитель Г. Х. Брундтланд (Норвегия).

- сохранение уцелевших и восстановление до уровня естественной продуктивности ряда деградировавших экосистем;
- рационализация потребления;
- «экологизация» производства;
- нормализация численности населения.

Поскольку биосфера, являясь регулятором состояния ОС, представляет собой единую систему, то полноценный переход к устойчивому развитию возможен только в масштабах мирового сообщества при эффективном международном сотрудничестве. Тем не менее особую роль играет ряд стран, одной из которых является Россия, обладающая большими территориями, фактически не затронутыми хозяйственной деятельностью и являющимися резервом устойчивости биосферы в целом.

В наши дни часто встречается мнение, что современное экономическое положение России не дает возможности всерьез заниматься проблемами охраны ОС, поэтому можно (а значит, и нужно) подождать. Сначала следует решить острые задачи выхода из экономического кризиса, а потом можно будет заняться и долгосрочными экологическими проблемами.

Нельзя забывать и о том, что наша страна географически расположена в одной из самых суровых частей планеты — на Севере Евразии. Даже в Канаде самый северный город расположен на широте Курска, а у нас большая часть территории имеет более сложные климатические условия. В частности, в России вегетационный период растений минимум на сто дней короче, чем во Франции. Тем не менее наш народ не только смог выжить на этой суровой земле, но и создать великую культуру, великую науку, стать одной из ведущих стран мира.

В связи с этим при поиске верного (и желательно оптимального) пути перехода к устойчивому развитию следует обратить внимание на точку зрения, высказанную В. И. Даниловым-Данильяном и К. С. Лосевым (1996, 2000):

«Для России переход к устойчивому развитию может быть осуществлен даже менее болезненно, чем для весьма многих других стран, и не только по той причине, что у нас сохранилось беспрецедентно много естественных экосистем[1].

В России сохранились огромные территории ненарушенных хозяйственной деятельностью экосистем, к которым относятся прежде всего восточно-сибирская тайга, включая оз. Байкал и Камчатку, значительный массив Западной евроазиатской тайги и почти полностью сохранившиеся Высокоарктическая и Южная тундры.

...весьма вероятно, что слом стереотипа технологического оптимизма и перепотребления (для развитых стран, например, США) или преодоление установки на многодетную семью (для развивающихся стран) — задача еще более трудная, чем реконструкция хозяйства, воспитание деловой активности и рачительности (хотя, конечно, как и у наших соседей по планете, наши проблемы не сводятся к одной или двум)».

В апреле 1996 г. Указом Президента № 440 утверждена «Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию», а на заседании правительства в 1997г. одобрена «Государственная стратегия устойчивого развития РФ».

Особое внимание в Концепции уделяется тому, что вывод Конференции ООН (Рио-де-Жанейро, 1992) чрезвычайно актуален для России. Удельное (в расчете на единицу производимого продукта) негативное воздействие на ОС в нашей стране существенно выше, чем в технологически развитых странах, большая часть производственных фондов отечественной экономики не отвечает современным требованиям.

Более половины населения России сосредоточено на 16% территории, которые характеризуются как экологически неблагополучные.

Тем не менее при глобальной оценке состояния ОС в России, по мнению! Его Королевского Величества принца Филиппа, почетного президента Всемирного фонда дикой природы (WWF):

«...только Россия еще способна потрясти богатством своего природного наследия. Сберечь эту удивительную природу — вот шанс выжить будущим поколениям».

С высокой степенью вероятности можно считать, что антропогенно ненарушенная часть составляет около 65% территории нашей страны, тогда как для всей суши Земли в целом (без учета ледяных, скальных и оголенных поверхностей) она составляет, по данным спутниковых наблюдений, всего около 27% .

Груз накопленных в прошлом проблем и специфика переживаемого переходного периода в экономике — предопределяют сложность и болезненность необходимых преобразований.

Авторы Концепции исходят из того, что устойчивое развитие — это такое развитие общества, при котором все воздействия на ОС остаются в пределах хозяйственной емкости биосфе-

ры, так что не разрушается природная основа для воспроизводства жизни.

В Концепции, в частности, утверждается, что механизмы разработки и принятия решений должны быть ориентированы на соответствующие приоритеты, основанные на следующих критериях:

- никакая хозяйственная деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает вызываемого ущерба;
- ущерб ОС должен быть на столь низком уровне, какой только может быть разумно достигнут с учетом экономических и социальных факторов.

Предусматривается последовательное решение следующих принципиальных задач:

- в процессе выхода страны из нынешнего кризиса обеспечить стабилизацию экологической ситуации;
- добиться коренного улучшения состояния ОС за счет экологизации экономической деятельности, широкого распространения экологически ориентированных методов управления;
- ввести хозяйственную деятельность в пределы емкости экосистем путем массового внедрения современных экологически оптимальных технологий, изменением структуры экономики, а также структуры личного и общественного потребления.

В Концепции предполагается следующий поэтапный переход России к устойчивому развитию:

I — стабилизация социально-экономического развития и создание нормативно-правовой базы для экологизации хозяйственной деятельности и оздоровления ОС на экологически неблагополучных территориях;

II — достижение нормативного уровня состояния ОС;

III — гармонизация развития Общества и Природы.

Переход к устойчивому развитию требует скоординированных действий во всех сферах жизни нашего общества, адекватной переориентации социальных, экономических и экологических институтов государства. Он предполагает строгое соблюдение ряда ограничений, следовать которым будет нелегко, особенно на начальных этапах. Важный фактор обеспечения этого процесса — создание системы всеобщего, комплексного и непрерывного экологического воспитания и образования как всех слоев общества, так и тех, чья хозяйственная деятельность связана с воздействием на ОС (см. разд. 10.9).

Концепция перехода к устойчивому развитию ставит перед современной Россией небывало сложные и ответственные задачи, но решать эти задачи необходимо, и иного просто не дано!

Отражением идеи устойчивого развития явилось включение проблем экологической безопасности в «Концепцию национальной безопасности РФ», утвержденную Указом Президента от 17.12.97 № 1300, где одной из основных задач в области обеспечения национальной безопасности России признано «коренное улучшение экологической обстановки в стране».

Правительство РФ на своем заседании 12.11.98 г. одобрило «Национальный план действий по охране окружающей среды Российской Федерации на 1999—2001 гг.» и предложило органам исполнительной власти руководствоваться этим документом в их повседневной деятельности.

В 2002 г. принята «Экологическая доктрина Российской Федерации», в соответствии с которой стратегической целью государственной политики РФ признано поддержание целостности природных систем и их жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития общества, здоровья населения и обеспечения экологической безопасности страны.

10.9. Экологическое воспитание, образование и культура

Воспитание и образование молодежи — приоритетное направление развития любого общества вне зависимости от политического устройства и экономических формаций. Назревший еще на пороге третьего тысячелетия глобальный экологический кризис современной технологической цивилизации вынуждает человечество создать систему непрерывного экологического воспитания и образования, результатом которых являлось бы формирование экологического мышления — способности оценивать результаты своей деятельности с точки зрения воздействия на Природу. При этом должно оцениваться не только каждое непосредственное (сиюминутное) воздействие, но и их отдаленные последствия, сказывающиеся на последующих поколениях. В наши дни

образование в целом и экологическое образование в частности не только эффективный, но и наиболее дешевый способ предотвращения экологической катастрофы, перехода к устойчивому развитию.

Экологическая нравственность и экологическая этика будущих поколений формируются сегодня. Только с детских лет может быть воспитано понимание, что все живое на планете самоценно и эта ценность не зависит от полезности для человека. Человек — пусть и выдающийся, но по значимости для биосферы не подавляющий вид.

Экологическое образование молодежи должно начинаться в семье, продолжаться в детских учреждениях (детских садах и т. п.), школах и вузах. Красивые игрушки и книжки по экологии, личный пример родителей, экологические мультфильмы, предмет «Экология» в школе, экологические лицеи, студенческие экологические конференции и симпозиумы, наконец, обязательный предмет «Экология» в высшем учебном заведении, — вот звенья цепочки, формирующие экологически ответственного человека. В вузах должны подготавливаться экологи-педагоги, специалисты, занимающиеся различными разделами этой науки.

Об особой роли и значении экологического воспитания, образования, а также научных исследований в нашей стране свидетельствуют разделы XII и XIII Федерального закона от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране ОС», где, в частности, отдельной статьей (ст. 73) оговаривается необходимость экологической подготовки «руководителей организаций и специалистов, ответственных за принятие решений при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, которая оказывает или может оказать негативное воздействие на окружающую среду».

В соответствии с современной Экологической доктриной РФ экологическое воспитание, образование и просвещение признаны одним из средств реализации государственной экологической политики нашей страны.

В настоящее время происходит формирование и экологической культуры, которая, по определению Н. Ф. Реймерса, является составной частью развития общемировой культуры, характеризуемой острым, глубоким и всеобщим осознанием насущной важности экологических проблем в жизни и будущем развитии человечества. Экологическая культура — это в какой-то степени возврат Человека к единству с Природой.

Древнейшие религии мира основаны на обожествлении природных явлений и признании всего живого равным себе — «...участь сынов человеческих и участь животных — участь одна; как те умирают, так умирают и эти, и одно дыхание у всех, и нет у человека преимущества перед скотом...» [Книга Екклесиаста. Гл. 3, стих 19. Ветхий Завет].

Современная экологическая культура, конечно, не может слепо основываться на вере, составляющей важнейший момент (элемент) религии. Она базируется на приоритетном научном изучении закономерностей взаимодействия Человека и Природы.

Руководствуясь современными знаниями о науке и технике, экокультура должна способствовать гармоничному существованию антропогенных и природных экосистем.

Контрольные вопросы и задания

10.1. Назовите объекты и субъекты экологического права в нашей стране.

10.2. Какие меры могут быть приняты в случае, если хозяйственная деятельность осуществляется с нарушением природоохранного законодательства?

10.3. Являются ли антропогенные объекты объектами охраны ОС от загрязнения, порчи и уничтожения?

10.4. Как экологическое право подразделяет территории, находящиеся в экологически неблагополучной ситуации?

10.5. Перечислите особенности правовой охраны атмосферного воздуха.

10.6. На какие виды принято делить территории и объекты, находящиеся под охраной государства, и каковы особенности деления особо охраняемых территорий в Российской Федерации?

10.7. Как развивались взгляды на окружающую среду и природные ресурсы в экономической теории?

10.8. Перечислите экономические механизмы охраны ОС. В чем сложность определения экономического ущерба от загрязнения ОС?

10.9. Какие требования должны обязательно содержаться в государственных стандартах, разрабатываемых для продукции, работ или услуг, затрагивающих вопросы охраны ОС?

10.10. Что такое качество природной среды и какова цель его нормирования?

10.11. Почему создание совершенных очистных сооружений не решает проблему загрязнения ОС?

10.12. Возможна ли реклама и реализация товаров, подлежащих обязательной экологической сертификации, но не имеющих «сертификата соответствия»?

10.13. Что означает термин «мониторинг»? Какие основные задачи решают системы мониторинга ОС?

10.14. В чем необходимость международного сотрудничества в области охраны среды? Какие организации работают в этой области?

10.15. Что такое устойчивое развитие? Каковы особенности перехода России к устойчивому развитию?

Заключение

Изменение биосферы идет одновременно по многим направлениям. «Человек настоящего времени представляет из себя геологическую силу, и сила эта сильна именно тем, что она возрастает, и предела ее возрастания нам не видно...» — отмечал в конце XIX — начале XX в. В. И. Вернадский. К началу третьего тысячелетия изменения природной среды, вызванные антропогенными факторами, стали заметны уже не только специалистам. Сегодня проблема защиты окружающей среды признается одной из глобальных проблем, стоящих перед Человечеством.

Одна из главных причин, ведущих к обострению взаимоотношений Человека и Природы и создающих серьезные проблемы, — быстрый рост населения Земли — неоднократно обсуждалась в трудах многих ученых. Еще Т. Мальтус (конец XVIII в.), обратившийся к математическому моделированию этого процесса, сформулировал популяционный принцип: *«геометрически растущее население будет опережать линейно растущее производство пищи»*. Идеи Мальтуса оказали серьезное воздействие на общественную мысль, привлекли внимание к выяснению причин и первым попыткам обосновать пути преодоления кризиса.

В начале 60-х годов XX в. демографический взрыв вновь привлек внимание к прогнозам и сценариям дальнейшего развития жизни на Земле (работы ученых Римского клуба и др.). Возможности и пути решения продовольственной проблемы, способность биосферы прокормить растущее население, емкость природной среды оказались в центре внимания Человечества. В итоге научных исследований и дискуссий стало ясно, что наша планета уже превратилась в единую экономическую и единую социальную систему, вне которой не может выжить ни одно государство. Мы все вместе оказались у предела допус-

тимой численности человечества и допустимого уровня потребления.

К началу XXI в. человеком было разрушено около 65% естественных экосистем суши, значительно нарушены и загрязнены водные экосистемы. Учеными-экологами (работы В. Г. Горшкова и др.) убедительно доказано, что качество ОС может поддерживать только биота, механизм управления которой основан на отобранных в процессе эволюции видах, содержащих необходимую генетическую информацию. По этой теории потенциал биотической регуляции вполне достаточен для глобальной компенсации современных антропогенных возмущений ОС при непременном условии сохранения естественной биоты на больших территориях.

Сохранение естественной биоты Земли — главная экологическая задача Человечества.

Сохранение должно сопровождаться полным прекращением дальнейшего освоения естественной биоты, в частности, биоты открытого океана, и восстановлением утраченной биоты на значительной части суши.

Естественное стремление людей к жизненным условиям, максимально удовлетворяющим их материально-бытовые и культурные потребности, диктует необходимость дальнейшего совершенствования хозяйственной деятельности при обязательном учете экологических последствий.

Тысячелетиями усилия Человечества преимущественно были направлены на преобразование природы. Человек пытался не «вписаться» в природу, а «использовать» ее в своих интересах, даже не задумываясь о том, что он сам — часть природы. Однако только одно осознание Человеком, что такой подход к биосфере являлся ошибкой, еще не предотвращает движение вида *Homo sapiens* к гибели в недалеком будущем. Человек разумен, он должен изменить свое отношение к природе, иначе он обречен.

Уникальность нашей планеты в том, что на ней существует жизнь, включающая разумные существа — людей. Подобных планет во Вселенной пока не обнаружено, поэтому сохранение на Земле разума и жизни во всех ее проявлениях — основная задача человечества.

Человечеству необходимо вернуться в выделенный ему законами устойчивости биосферы коридор для развития, грани-

цы которого в глобальном масштабе уже научно оценены и обоснованы. И только тогда

«...движение человечества к устойчивому развитию в конечном счете приведет к формированию предсказанной В. И. Вернадским сферы разума (ноосферы), когда мерилом национального и индивидуального богатства станут духовные ценности и знания Человека, живущего в гармонии с окружающей средой».

(Из «Концепции перехода РФ
к устойчивому развитию», 1996.)

Список литературы основной

Акимова Т. А., Хаскин В. В. Экология. — М.: Изд-во ЮНИТИ, 1998. — 456 с.

Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера. — М.: Наука, 1994. — 672 с.

Гиляров А. М. Популяционная экология. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 184 с.

Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Экологический вызов и устойчивое развитие. — М.: Изд-во Прогресс-Традиция, 2000.— 416 с.

Миллер Т. Жизнь в окружающей среде: В 3-х частях: Пер. с англ. / Под ред. Г. А. Ягодина. — М.: Изд. группа Прогресс, Пангея, 1993—1996.

Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия, 1990. — 352 с.

Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир: В 2-х т.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1993.

Петров К. М. Экология человека и культура. — СПб.: Химиздат, 1999. — 384 с.

Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер В. Г. Технологические процессы экологической безопасности. — 3-е изд. — Калуга: Изд-во Н. Е»очкаревой, 2000. — 800 с.

Шилов И. А. Экология. — М.: Высшая школа, 1998. — 512 с.

Список литературы дополнительный

Алымов В. Т., Крапчатое В. П., Тарасова Н. П. Анализ техногенного риска. — М.: Изд-во Круглый год, 2000. — 160 с.

Андерсон Дж. М. Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек: Пер. с англ. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 166 с.

Биология. В 2-х кн. / В. Н. Ярыгин, В. И. Васильева, И. Н. Волков, В. В. Синелыцикова; Под ред. В. Н. Ярыгина. — М.: Высшая школа, 1997.

Биологический энциклопедический словарь / Гл. ред. М. С. Гиляров. — 2-е изд. — М.: Сов. энциклопедия, 1995. — 864 с.

Богданкевич О. В. Лекции по экологии. — М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2002. — 208 с.

Бринчук М. М. Экологическое право (право окружающей среды). — М.: Изд-во Юристъ, 1998. — 685 с.

Буданов В. Г., Мелехова О. П. Концепции современного естествознания. — М.: Изд-во МГТУГА, 1999. — 116 с.

Будыко М. И. Эволюция биосферы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 488 с.

Бялко А. В. Наша планета — Земля. — М.: Наука, 1989. — 237 с.

Введение в химию окружающей среды / Дж. Андруз, П. Бримблекумб, Т. Джикелз, П. Лисе / Пер. с англ. — М.: Мир, 1999. — 271 с.

Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре. Затрат — половина, отдача двойная: Новый доклад Римскому клубу. — М.: Academia, 2000. — 400 с.

Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование: Пер. с франц. — М.: Наука, 1976. — 286 с.

Войткевич Г. В. Происхождение и химическая эволюция Земли. — М.: Наука, 1989. — 160 с.

Гаузе Г. Ф. Исследование над борьбой за существование в смешанных популяциях. — Зоологический журнал, 1935, т. 14, № 2, с. 243—270.

Глазовская М. А. Почвы мира. — М.: Изд-во МГУ, 1973. — 427 с.

Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. — М.: Высшая школа, 1988. — 328 с.

Глобальное потепление: Доклад Гринпис: Пер. с англ. / Под ред. *Дж. Леггетта.* — М.: Изд-во МГУ, 1993. — 272 с.

Горшков В. Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды. — Итоги науки и техники. Сер. «Теоретические и общие вопросы географии». — М.: ВИНИТИ, 1990, т. 7. — 238 с.

Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. — М.: ВИНИТИ, 1995. — 470 с.

Горшков С. П. Концептуальные основы геоэкологии. — Смоленск: Изд-во Смоленского гуманитарного университета, 1998. — 448 с.

Грабб М., Вролик К., Брэк Д. Киотский протокол: Анализ и интерпретация: Пер. с англ. — М.: Наука, 2001. — 304 с.

Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: В 3-х т.: Пер. с англ. / Под ред. *Р. Сопера.* — М.: Мир, 1993.

Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора: Комментарий А. В. Яблокова, Б. М. Медникова. — М.: Просвещение, 1987. — 383 с.

Джиллер П. Структура сообществ и экологическая ниша: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 184 с.

Добровольский В. В. Основы биогеохимии. — М.: Высшая школа, 1998. — 413 с.

Ичас М. О природе живого: механизмы и смысл: Пер. с англ. — М.: Мир, 1994. — 496 с.

Зайдельман Ф. Р. Фермеру о почвах и повышении их плодородия. — М.: Аккоринформиздат, 1994. — 154 с.

Капица С. П. Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле: Очерк теории роста человечества. — М.: Международная программа образования, 1999. — 240 с.

Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. — М.: Наука, 1997. — 283 с.

Киприянов Н. А. Экологически чистое растительное сырье и готовая пищевая продукция. — М.: Агар, 1997. — 176 с.

Киселев В. Н. Основы экологии. — Минск: Ушверсггэцкае, 1998. — 367 с.

Клауснитцер Б. Экология городской фауны: Пер. с нем. — М.:Мир, 1990. — 248 с.

Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. — М.: Наука, 1994. — 229 с.

Ковда В. А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушения человеком // Биогеохимические циклы в биосфере. — М.: Наука, 1976. С. 19—35.

Коммонер Б. Замыкающий круг. Природа. Человек. Технология: Пер. с англ. — Л.: Гидрометеоиздат, 1974. — 248 с.

Коммонер Б. Технология прибыли: Пер. с англ. — М.: Мысль, 1976. — 112 с.

Криксу нов Е. А., Пасечник В. В. Экология. — 5-е изд., дораб. — М.: Дрофа, 2001. — 240 с.

Кэмп П., Арме К Введение в биологию: Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. —671с.

Лапин В. Л., Мартинсен А. Г., Попов В. М. Основы экологических знаний инженера. — М.: Изд-во Экология, 1996. — 176 с.

Лапо А. В. Следы былых биосфер, или рассказ о том, как устроена биосфера и что осталось от биосфер геологического прошлого. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Знание, 1987. — 198 с.

Лифшиц А. Б. Современная практика управления твердыми бытовыми отходами. Чистый город. — 1999, № 1(5), с. 2—14.

Лоренц К. Агрессия: Пер. с нем. — М.: Прогресс, 1994. — 269 с.

Лосев К. С. Вода. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 272 с.

Львович М. И. Вода и жизнь. — М.: Мысль, 1986. — 254 с.

Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. — М.: Мысль, 1974. — 448 с.

Мамонтов С. Г. Биология. — М.: Высшая школа, 1991. — 477 с.

Пределы роста: Пер. с англ. *Д. X. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Й. Рандерс, У. Беренс III.* — М.: Изд-во МГУ, 1991. — 208 с.

Макар С. В. Основы экономики природопользования. — М.: Изд. ИМПЭ им. А. С. Грибоедова, 1998. — 192 с.

Медоуз Д. X., Медоуз Д. Л., Рандерс Й. За пределами роста. — М.: Изд. группа Прогресс, Пангея, 1994. — 304 с.

Мелехова О. П. Глобальный эволюционизм и биолого-экологическое образование. — Синэргетика и образование. — М.: Изд-во Гнозис, 1997, с. 24—46.

Мелехова О. П. Время как фактор развития // Теоретические проблемы в биологии и медицине: Пространственно-временная организация онтогенеза. — М.: Изд-во МГУ, 1998, с. 24—39.

Мелехова О. П. Синэргетика как общая методология современного образования в области наук о жизни. — Синергетика. — М.: Изд-во МГУ, 1999, т. 2, с. 103—109.

Моисеев Н. Н. Как далеко до завтрашнего дня... Свободные размышления. 1917—1993. — М.: Тайдекс Ко, 2002. — 488 с.

Николайкин Н. И. Методология оценки экологических затрат на удовлетворение потребностей общества. — Научный вестник МГТУ ГА. — М., 1998, № 7, с. 77—82.

Николайкин Н. И., Николайкина Н. Е., Мелехова О. П. Экология. — М.: Изд-во МГУИЭ, 2000. — 504 с.

Николайкин Н. И., Кубринская М. Э. Охрана окружающей среды. — М„: Изд-во МИИ ГА, 1991. — 72 с.

Николайкин Н. И., Николайкина Н. Е. Основы экологии. — М.: Изд-во МИИ ГА, 1990. — 48 с.

Николайкина Н. Е., Николайкин Н. И., Чехов О. С. Основы экологии. — М.: Изд. МГАХМ, 1994. — 32 с.

Новиков И. Д. Инфляционная модель ранней Вселенной. — Вестник РАН, 2001, т. 71, № 10, с. 886—898.

Общая экология. В 2-х ч. / Под ред. *Н. И. Николайкина.* — М.: МГТУ ГА, 2000—2001.

Общая экология / Автор-составитель А. С. *Степановских.* — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. — 510 с.

Одум Ю. Экология: Пер. с англ. / Под ред. В. Е. Соколова: В 2-х т. — М.: Мир, 1986.

Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы: Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1978. — 380 с.

Окружающая среда: энциклопедический словарь-справочник: Пер. с нем. — М.: Прогресс, 1993. — 640 с.

Пашков Е. В., Фомин Г. С, Красный Д. В. Международные стандарты ИСО 14 000. Основы экологического управления. — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. — 464 с.

Петров В. В. Экологическое право России. — М.: Изд-во БЕК, 1997. — 558 с.

Петров К. М. Общая экология: взаимодействие общества и природы. — СПб.: Химия, 1997. — 352 с.

Петросян Л. А., Захаров В. В. Математические модели в экологии. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1997. — 256 с.

Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении / Составитель *М. Китинг.* — Женева: Центр за наше общее будущее, 1993. — 70 с.

Пригожий И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. 3-е изд.: Пер. с англ. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 312 с.

Пригожий И., Стенгерс И. Время, хаос, квант: Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1994. — 256 с.

Проблемы экологии России / *К. С.* Лосев, *В. Г. Горшков, К. Я. Кондратьев* и др.; Под ред. *В. И. Данилова-Данильяна* и *В. М. Котлякова.* — М.: Федеральный экологический фонд РФ, 1993. — 348 с.

Радкевич В. А. Экология. — 4-е изд., стер. — Минск: Высшая школа, 1998. — 159 с.

Рамад Ф. Основы прикладной экологии: Пер. с фр. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981. — 543 с.

Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания: В 4-х-кн.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1994—1995.

Реймерс Н. Ф. Природопользование: Словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.

Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). — М.: Изд-во Россия Молодая, 1994. — 367 с.

Риклефс Р. Основы общей экологии: Пер. с англ. — М.: Мир, 1979. — 424 с.

Римский клуб. История создания, избранные доклады и выступления, официальные материалы / Под ред. *Д. М. Гвишиани.* — М.: УРСС, 1997. — 384 с.

Романова Э. П., Куракова Л. И., Ермаков Ю. Г. Природные ресурсы мира. — М.: Изд-во МГУ, 1993. — 304 с.

Роун Ш. Озоновый кризис. Пятнадцатилетняя эволюция неожиданной глобальной опасности: Пер. с англ. — М.: Мир, 1993. — 320 с.

Савенко В. С. Радиоэкология. — Мн.: Изд. Дизайн ПРО, 1997.— 208 с.

Сборник действующих договоров, соглашений и конвенций, заключенных СССР с иностранными государствами. В 45 томах. — М.: Политиздат — Международные отношения, 1951—1991гг.

Скурлатов Ю. И., Дука Г. Г., Мизити А. Введение в экологическую химию, — М.: Высшая школа, 1994. — 400 с.

Стадницкий Г. В., Родионов А. И. Экология. — 2-е изд., исправл. — СПб.: Химия, 1996. — 240 с.

Судо М. М. Геология. — М.: Изд-во МНЭПУ, 1996. — 88 с.

Сукачев В. Н. Биоценология и ее современные задачи // Журн. общ. биол. — М., 1967, т. 28, № 5, с. 501—509.

Сытник К. М., Брайон А. В., Гордецкий А. В. Биосфера. Экология. Охрана природы: Справочное пособие/ Под ред. К. М. Сытника. — Киев: Наукова думка, 1987. — 524 с.

Тинберген Н. Социальное поведение животных: Пер. с англ. — М.: Мир, 1993. — 152 с.

Трунцевский Ю. В. Экологическое право России. — М.: Изд-во ПРИОР, 1999. — 112 с.

Тюрюканов А. Н., Федоров В. М. Н. В. Тимофеев-Ресовский: Биосферные раздумья. — М.: Изд-во Акад. естеств. наук РФ, 1996. — 368 с.

Урсул А. Д. Стратегия перехода России на модель устойчивого развития, проблемы и перспективы. — М.: Луч, 1994. — 273 с.

Устойчивое развитие // Информационный сборник. Вып. 1. — М.: ВИНИТИ, 1996. — 138 с.

Форреспгер Дж. Мировая динамика: Пер. с англ. — М.: Наука, 1978. — 167 с.

Фоули Р. Еще один неповторимый вид. Экологические аспекты эволюции человека: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 368 с.

Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 419 с.

Химия и жизнь (Солтеровская химия). Часть П. Химические новеллы: Пер. с англ. — М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 1997. —437 с.

Хрестоматия по общей экологии (развитие идей) / Сост. *Н. А. Кузнецова.* — М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. — 292 с.

Чехов О. С, Николайкина Н. Е., Калабеков И. Г. Природопользование. — М.: Изд-во МГУ ИЭ, 1999. — 156 с.

Чернова Н. М., Вылова А. М. Экология. — 2-е изд. — М.: Просвещение, 1988. — 272 с.

Шилов И. А. Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных. — М.: Изд-во МГУ, 1977. — 263 с.

Эйхлер В. Яды в нашей пище: Пер. с нем. — 2-е изд. — М.: Мир, 1993. — 189 с.

Экогеохимия городских ландшафтов / *Н. С. Касимов, А. И. Перельман, А. В. Евсеев* и др. — М.: Изд. МГУ, 1995. — 330 с.

Экологические очерки о природе и человеке: Пер. с нем. / Под ред. *Б. Гржимека.* — М.: Прогресс, 1988. — 640 с.

Экология / *Л. И. Цветкова, М.И.Алексеев* и др.; Под ред. *Л. И. Цветковой.* — М.: Изд-во АВС; — СПб.: Химиздат, 1999.— 488 с.

Экология. Юридический энциклопедический словарь / Под ред. *С. А. Боголюбова.* — М.: Изд-во НОРМА, 2000. — 448 с.

Экология — экономика — политика / *К. Я. Кондратьев, В. К. Донченко, К. С. Лосев, А. К. Фролов.* — СПб.: Изд-во Научного центра РАН, 1996. — 827 с.

Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // Итоги науки и техники (ВИНИТИ). — Сер. Теор. и общие вопр. географии. — М.: 1990, т. 7. — 338 с.

Предметный указатель

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Оглавление

Учебное издание

Николайкин Николай Иванович
Николайкина Наталья Евгеньевна
Мелехова Ольга Петровна

ЭКОЛОГИЯ

Учебник для вузов

Зав. редакцией *В. В. Понкратов*
Редактор *И. Е. Якушина*
Оформление *О. В. Корытов*
Технический редактор *М. В. Биденко*
Компьютерная верстка *Т. В. Рыбина*
Корректор *Н. С. Соболева*

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 77.99.02.953.Д.006315.08.03 от 28.08.2003.

Подписано к печати 17.02.04. Формат 60x90 •
Бумага типографская. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 39,0. Тираж 6000 экз. Заказ № 4410032.

ООО «Дрофа». 127018, Москва, Сущевский вал, 49.

По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа»
обращаться по адресу: 127018, Москва, Сущевский вал, 49.
Тел.: (095) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (095) 795-05-52.

Торговый дом «Школьник».
109172, Москва, ул. Малые Каменщики, д. 6, стр. 1А.
Тел.: (095) 911-70-24, 912-15-16, 912-45-76.

Магазины «Переплетные птицы»:
127018, Москва, ул. Октябрьская, д. 89, стр. 1.
Тел.: (095) 912-45-76;

140408, Московская обл., г. Коломна, Голутвин,
ул. Октябрьской революции, 366/2.
Тел.: (095) 741-59-76.

Отпечатано с готовых монтажей на ФГУИПП «Нижполиграф».
603006, Нижний Новгород, ул. Варварская, 32.